

Rodolfo Pinto da Luz

**PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA EXPERIMENTOS EM
REALIDADE VIRTUAL**

**Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito
parcial para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.

**Florianópolis
2002**

Rodolfo Pinto da Luz

**PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA
EXPERIMENTOS EM REALIDADE VIRTUAL**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de
Doutor em Engenharia de Produção no **Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade
Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 28 de março de 2002.

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora

Prof. Tarcísio Della Senta, Ph.D.

Prof. Eric Klopfer, Ph.D.

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Orientador

Prof. Alejandro Martins, Dr.

Prof. Hugo César Hoeschl, Dr.

Prof. Fernando Gauthier, Dr.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que, num mundo cada vez mais complexo e conturbado, possuem o dom de transformar seus sonhos em realidade. E em especial aos meus pais e a Irla, que me apoiaram e incentivaram constantemente nesta jornada.

Agradecimentos

Agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram em mais esta etapa da minha vida, em especial:

ao meu orientador e amigo, Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D., que me incentivou e apoiou nesta caminhada, apontando sempre a direção;

ao meu amigo, Prof. Dr. Alejandro Martins, que se entregou de corpo e alma nesta e em tantas outras empreitadas;

às instituições de financiamento CAPES, Comissão Fulbright, Brasil, pelo suporte (Glayna Lucia Nogueira Braga, Stella Wolff, Renata Cristina Franco Moreira);

ao Laboratório de Realidade Virtual do PPGE/UFSC e à sua equipe, colaboradores em potencial nesta pesquisa;

ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, através de seus professores, colaboradores e colegas, pela oportunidade única de aprendizado (Dr. Ariovaldo Bolzan, Carlos Pittaluga Niederauer, Dr. Rogério Cid Bastos, Paulo de Tarso Mendes Luna, Neiva Gasparetto, Rosangela Rodrigues, Rita de Cassia Broering Nascimento, Rosimeri Maria de Souza, Eduardo Lobo, João Vianney);

ao Institute of Advanced Studies, UNU, Tóquio, Japão, e ao Massachusetts Institute of Technologies, Cambrigde, EUA, e a seus respectivos pesquisadores, professores e colegas, pela acolhida e excelentes oportunidades de pesquisa. (Ng S. T. Chong, Dr. Tarcísio Della Senta, Dr. Nishkant Sonwalkar, Dr. Eric Klopfer, Dr. Richard Larson, Ted Korelitz, Beverly Foxx, Sharon Ralston);

à Universidade Federal de Santa Catarina, pela pluralidade científica e seu espírito inovador (Clotilde Maria Ternes Ceccato, Elci Terezinha de Souza Junckes, Prof. Gilberto Vieira Ângelo);

aos professores Fernando Gauthier, Roberto Pacheco, Silvana Pezzi e Édis Lapoli, participantes ativos no desenvolvimento de novas tecnologias;

a todos os amigos, particularmente a Eduardo Trauer, Eugenio Merino, Ivana Fontanive Capanema, Juliano Soares dos Santos, Kris Kipp, Ney André de Mello Zunino, Rodrigo Rosa Cesconeto, Clotilde Maria Ternes Ceccato, Joseli Cintra, obrigado pela compreensão;

aos amigos Eduardo Pereira, Sebastian de Oliveira Lima (*in memorian*), Sérgio Cidade Jr., Sérgio Pinto da Luz, Sérgio Hamilton D'Aquino Jr., Onivaldo Rosa Jr., pelas horas e horas que passamos conversando sobre tecnologia e informática;

aos que participaram diretamente nesta pesquisa, Cloves das Neves, Giovanni Secco, Irla Bocianoski Rebelo, Onivaldo Rosa Jr., Juliano Soares dos Santos, Eduardo Trauer, Prof. Gilberto Vieira Ângelo, Profa. Isabel Courtney, Nilson Ribeiro Modro, Rodrigo Becke Cabral;

ao Tio João Batista Berretta Neto, obrigado por abrir-me este caminho da tecnologia;

ao amigo, companheiro e batalhador Onivaldo Rosa Jr., pela sua incontestável amizade;

a André Manzolli, obrigado irmão;

aos meus avós, Mary da Fonseca Pinto da Luz, João Pinto da Luz (*in memorian*) e João Batista Berretta Jr., pelo apoio;

à minha avó Laura Nunes Berretta, pela sabedoria e apoio constante;

a Irla Bocianoski Rebelo, minha alma gêmea;

aos meus pais, Lúcia e Rodolfo, por todo incentivo e por me oferecerem esta oportunidade única, a vida.

Muito Obrigado, Pessoal.

Rodolfo Pinto da Luz

Resumo

Este trabalho apresenta a proposta de um projeto de uma plataforma para criação e realização de experimentos virtuais para ensino que emprega um conceito de reutilização de objetos. Essa plataforma permite que professores possam, sozinhos, preparar experimentos virtuais com o reaproveitamento de conhecimento. A validação da proposta é feita com o desenvolvimento de um protótipo que contempla os principais aspectos do projeto: 1) reutilização de objetos e experimentos, 2) colaboração, 3) aplicação do modelo SCORM e 4) utilização de um padrão de objetos e experimentos virtuais. A solução para a criação de uma metodologia para experimentos distribuídos e colaborativos em realidade virtual foi aplicada ao protótipo, que provou ser possível o desenvolvimento de experimentos de laboratório e sua reutilização em diferentes sistemas de ensino on-line. O reaproveitamento acontece dentro da própria plataforma ou em sistemas de gerenciamento de ensino (LMS) em conformidade com o SCORM. O protótipo evidencia, também, que os alunos podem realizar os experimentos virtuais em caráter individual ou colaborativamente. Eventualmente, a presença do professor nas sessões de experimentação pode ajudar o aluno em suas dificuldades.

Palavras-chave: Realidade Virtual; Experimentos Virtuais; Internet;
Interoperabilidade

Abstract

This work presents the proposal of a project of a platform for creation and accomplishment of virtual experiments for teaching that uses a concept of objects reusability. The platform allows teachers to prepare virtual experiments by themselves with knowledge reuse. The concept proof was accomplished by the development of a prototype that contemplates the main aspects of the project: 1) objects and experiments reuse, 2) collaboration, 3) application of the model SCORM and 4) use of a objects and virtual experiments pattern. The solution for the creation of a methodology for distributed and collaborative experiments in virtual reality, was applied to the prototype, that proved to be possible the development of laboratory experiments and its reuse in different education systems on-line. The reuse happens into the platform or at Learning Management Systems (LMS) in accordance with SCORM. The prototype evidences, also, that the students can accomplish the virtual experiments alone or collaborating. Eventually, the teacher's presence in the experimentation sessions can help the student in their difficulties.

Key-words: Virtual Reality; Virtual Experiments; Internet; Interoperability; Platform

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Introdução	12
1.2	Descrição do Problema	13
1.2.1	Necessidade de experimentos virtuais	14
1.3	Objetivos	17
1.3.1	Objetivo geral	17
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	Resultados Esperados	18
1.5	Estrutura da Tese	19
2	Realidade Virtual na Educação	20
2.1	Realidade Virtual	20
2.1.1	Conceitos	20
2.1.2	Histórico	22
2.1.3	Aplicações	22
2.1.4	Pesquisa	23
2.1.5	Aspectos de desenvolvimento	23
2.2	Utilização Racional do Conhecimento	26
2.2.1	SCORM	28
2.2.2	Sistema UNL	29
2.3	Uso da Realidade Virtual na Educação	31
2.3.1	Teorias pedagógicas	31
2.3.2	Colaboração	32
2.3.3	Vantagens e desvantagens	32
2.4	Projetos em Realidade Virtual na Educação	34
3	Proposta de Projeto da Plataforma	41
3.1	Introdução	41
3.2	Requisitos	41
3.3	Projeto da Plataforma	43
3.4	Diferentes Cenários	47
3.5	Casos de Uso	48
3.6	Modelo de Classes	53
3.6.1	Objeto	55
3.6.2	Experimento	58
3.7	Componentes	66
3.7.1	Módulos do sistema	68
3.7.2	Rede	70
3.8	Estrutura de dados – conhecimento implícito	71
3.8.1	Bibliotecas	71
3.8.2	Interoperabilidade e reutilização do conhecimento	72
3.9	Distribuição	75
4	Aplicação	76
4.1	Introdução	76
4.2	Descrição da Aplicação	77

4.3	Experimentos	78
4.3.1	Queda livre.....	79
4.3.2	Ângulo crítico	81
4.4	Modelagem do Protótipo	83
4.4.1	Diagrama de classes.....	84
4.4.2	Diagramas de colaboração	87
4.4.3	Objetos de conhecimento.....	90
4.5	Protótipo do módulo <i>aluno</i>	91
4.6	Considerações Finais	93
5	Conclusão	94
5.1	Futuros Trabalhos	95
6	Referências Bibliográficas.....	97

Lista de Figuras

Figura 1 – Taxonomia de utilização de laboratórios e suas relações.....	14
Figura 2 – Quadro com resumo de bibliotecas para realidade virtual	25
Figura 3 – Lista de equipamentos para realidade virtual	26
Figura 4 – Pacote de troca de arquivos.....	28
Figura 5 – Diagrama do UNL System	30
Figura 6 – NewtonWorld	35
Figura 7 – Aluno interagindo com o ambiente do NICE.....	35
Figura 8 – Representação de um aluno (avatar) plantando	36
Figura 9 – Interface atual de Blackwood.....	37
Figura 10 – Experimento de fricção	38
Figura 11 – Tela do atual desenvolvimento do projeto LAAPhysics.....	39
Figura 12 – Quadro com resumo de projetos educacionais com realidade virtual.....	39
Figura 13 – Estrutura da plataforma VREL.....	45
Figura 14 – Diagrama de pacotes com relação de dependência do VREL por uma biblioteca de realidade virtual	47
Figura 15 – Diagrama de caso de uso principal do sistema.....	49
Figura 16 – Casos de uso do professor	51
Figura 17 – Diagrama de casos de uso de ajuste de um experimento	52
Figura 18 – Diagrama de casos de uso <i>realizar um experimento</i>	53
Figura 19 – Diagrama de Pacotes do VREL.....	54
Figura 20 – Diagrama da classe <i>objeto</i> e suas dependências.....	55
Figura 21 – Diagrama da classe <i>objeto de realidade virtual</i> e suas dependências.....	56
Figura 22 – Diagrama de estados do objeto básico	58
Figura 23 – Diagrama da classe <i>experimento</i> e classes associadas	59
Figura 24 – Diagrama de classes para o ajuste de experimentos.....	61
Figura 25 – Diagrama de atividades de ajuste de experimento	64
Figura 26 – Diagrama de estados da classe <i>experimento</i> na fase de ajuste	65
Figura 27 – Diagrama de colaboração para a criação de um experimento	66
Figura 28 – Diagrama de conexão com outros pacotes	67
Figura 29 – Diagrama dos componentes do servidor	67
Figura 30 – Módulos do sistema.....	68
Figura 31 – Diagrama de classes referentes ao SCORM.....	74
Figura 32 – LRVChat3D com dois usuários participando.....	78
Figura 33 – Preparo do experimento de queda livre.....	79
Figura 34 – Experimento de queda livre com um dos resultados.....	80
Figura 35 – Preparo do experimento de ângulo crítico.....	81
Figura 36 – Ângulos críticos e coeficientes de atritos do experimento	82
Figura 37 – Experimento do ângulo crítico sendo realizado	83
Figura 38 – Quadro com as classes participantes em cada experimento	84
Figura 39 – Diagrama com as classes utilizadas no experimento de queda livre.....	85
Figura 40 – Diagrama da classe complementar para uso no experimento de ângulo crítico.....	85
Figura 41 – Diagrama da classe <i>plano inclinado</i>	86
Figura 42 – Diagrama da classe <i>transferidor</i>	87
Figura 43 – Diagrama com objetos do experimento <i>queda livre</i>	88
Figura 44 – Diagrama com objetos do experimento <i>ângulo crítico</i>	89
Figura 45 – Visão da aluna Dasha de dentro do ambiente do experimento	91
Figura 46 – Visão do aluno Alex de dentro do experimento de um dos alunos.....	92

Lista de Abreviaturas

ADL	Advanced Distributed Learning
AICC	Aviation Industry CBT Committee
API	Application Program Interface
ARIADNE	Alliance of Remote Instructional Authoring & Distribution Networks for Europe
CVE	Collaborative Virtual Environment
DEVRL	Distributed Extensible Virtual Reality Laboratory
DIVE	Distributed Interactive Virtual Environment
DOD	Departamento de Defesa Norte-Americano
HMD	Head Mounted Display
HTML	Hypertext Markup Language
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMS	Instructional Management Systems
LMS	Learning Management Systems
LRV	Laboratório de Realidade Virtual
LTSC	Learning Technology Standards Committee
NICE	Narrative Immersive Constructionist/Collaborative Environments
PIF	Package Interchange File
PPGEP	Pós-Graduação em Engenharia de Produção
RV	Realidade Virtual
SCO	Shareable Content Object
SCO	Sharable Content Object
SCORM	Shareable Content Object Reference Model
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UML	Unified Modeling Language
UNL	Universal Networking Language
VR	Virtual Reality
VREL	Virtual Reality Experiment Laboratory
VRML	Virtual Reality Modeling Language
WWWIC	World Wide Web Instructional Committee
XML	Extensible Markup Language

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Desde o século XIX, têm ocorrido diversas iniciativas no mundo ocidental relativas a inovações no ensino. O início dessa nova etapa deu-se durante o século XIX, com o surgimento do ensino por correspondência (BRITISH COUNCIL, 2002; RODRIGUES, 1998; HANNA, 2000).

Com a origem da informática e, posteriormente, com a difusão desta em larga escala, durante a década de 80, essa tecnologia também passou a ser um instrumento utilizado em prol da educação. Como resultado, são desenvolvidos diversos novos tipos de sistemas para o ensino, que acompanham *pari passu* a evolução na área tecnológica.

A Internet, por sua vez, veio acelerar o processo de difusão do conhecimento. Inicialmente, devido às limitações tecnológicas, as ferramentas já desenvolvidas na informática para educação não puderam ser migradas para essa nova tecnologia. Com o passar do tempo, as pesquisas foram avançando e novos equipamentos e sistemas foram criados.

A Internet trouxe para a educação uma característica que só poderia ser criada com interações *in loco*: a interconexão dos sistemas, o que inclui a interconexão entre pessoas e, assim, possibilita a criação de grupos de trabalho. Essa característica, essencial em diversos métodos educacionais, possibilita que pessoas separadas geograficamente possam interagir em tempo real entre elas.

Normalmente, devido em especial às limitações da tecnologia empregada, essa interação é feita exclusivamente por meio de textos, som e imagens. Trata-se, portanto, de uma forma de interação que impossibilita o uso de todos os sentidos humanos. Na educação, critica-se que sistemas que operam somente via computador restringem as interações entre as pessoas e amplificam seu sentimento de impotência (PREECE, 1994).

Já a realidade virtual, uma evolução no campo da interatividade humana, aparece como uma alternativa economicamente viável para o aumento e melhoria dessa interatividade, o que produz efeitos positivos.

A utilização da realidade virtual na educação permite que as pessoas utilizem os sistemas computacionais de uma forma mais natural e, através das redes de computadores, possam interagir umas com as outras de maneira mais convencional, principalmente por ampliar os sentidos da visão e da audição entre os interlocutores, e o do tato.

1.2 Descrição do Problema

A utilização de ferramentas tecnológicas para o ensino vem aumentando em ritmo vertiginoso. Muitas aplicações estão sendo desenvolvidas para a Internet e também para outros meios, como, por exemplo, o uso de videoconferência. Essas ferramentas não permitem uma alta interatividade com os conteúdos, especialmente aqueles necessários a atividades práticas como em experiências de laboratório e de campo.

Este trabalho aborda a utilização da tecnologia computacional para recriar uma das ferramentas de ensino, o laboratório, e, devido à sua diversidade de utilização, propõe-se uma taxonomia baseada na utilização de laboratórios.

Neste trabalho os laboratórios foram divididos em duas categorias principais: pesquisa e ensino. São denominados laboratórios de pesquisa aqueles em que são desenvolvidos e testados novos experimentos. Os resultados desses experimentos são inéditos e com resultados previstos através da teoria ou, às vezes, inesperados. Os resultados práticos em um laboratório de pesquisa também podem ser desastrosos.

A categoria de laboratórios de ensino engloba apenas experimentos programados com resultados esperados. Esses experimentos são utilizados para o reforço e assimilação do conteúdo ministrado em sala de aula. Os experimentos de laboratórios de ensino são controlados e, com a ajuda de um professor ou especialista, reduz-se o risco de surpresas desagradáveis.

Os laboratórios de pesquisa são, na maioria dos casos, encontrados em universidades, institutos e centros de pesquisa. Os laboratórios de ensino podem ser encontrados também nessas organizações, principalmente em universidades, e em escolas de Ensino Fundamental e Médio. A Figura 1 apresenta graficamente uma classificação dos laboratórios e também sugere as suas relações com as diferentes organizações. Este trabalho concentra-se nos laboratórios de ensino.

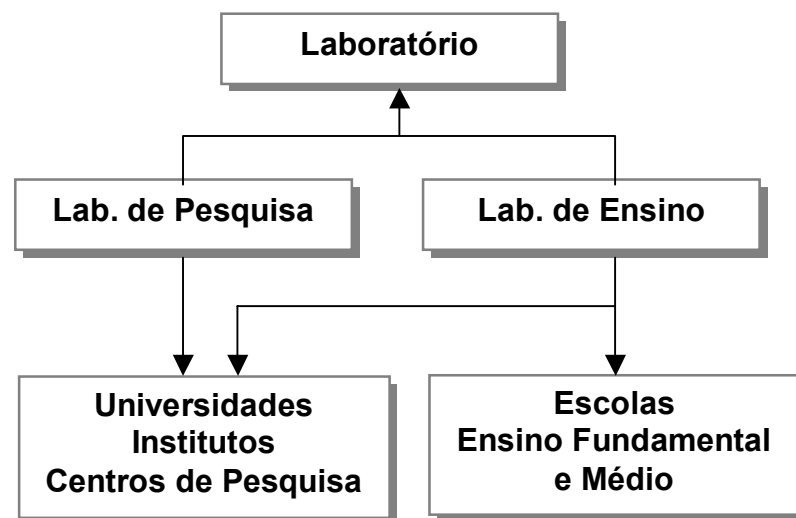


Figura 1 – Taxonomia de utilização de laboratórios e suas relações

1.2.1 Necessidade de experimentos virtuais

Em laboratórios de ensino são conduzidos diversos experimentos. Estes são realizados para que alunos aprendam, na prática, a teoria ensinada. As atividades de laboratório mais comuns são: calibrar um equipamento de laboratório, preparar um ensaio, conduzir experimentos, coletar dados e realizar análise de dados. Essas atividades direcionam a aquisição do conhecimento.

O custo de construção e manutenção de um laboratório de ensino é elevado. Sua utilização por alunos é limitada devido aos seguintes fatores:

- periculosidade: sem o auxílio de um responsável, tutor ou professor, o aluno corre diversos riscos, tais como cortes, queimaduras e intoxicações;

- restrições temporais: a utilização desse tipo de laboratório fica restrita, na maioria dos casos, ao horário de aula. Além dessa restrição, normalmente um experimento não pode ser repetido devido a limitações temporais;
- repetição de experimentos: raramente em um laboratório convencional é possível a repetição de um experimento devido a diversos fatores, mas principalmente pelo custo de reposição dos insumos; e
- restrições físicas e logísticas: um laboratório não pode atender um número de pessoas além da sua capacidade, que depende de espaço e recursos humanos associados.

As modalidades de aprendizado predominantes em laboratórios de ensino são: aprendizado colaborativo, resolução de problemas, simulação e descoberta. Além disso, a utilização de experimentos virtuais pode gerar um melhor entendimento do conteúdo educacional (YOUNGBLUT, 1998; BRELSFORD apud ALLISON; HODGES, 2000; SONWALKAR et al., 1997; BURRELL et al., 2000).

Um laboratório dessa natureza envolve um alto investimento na infraestrutura e em insumos. Além dos equipamentos, há necessidade de recursos humanos, professores e auxiliares de laboratório. A maioria dos laboratórios de física, química e biologia possui medidas de segurança e um alto custo de manutenção (PANTELIDIS, 1997; TRAUER; LUZ, 1997a; DEDE et al., 1999).

Com o intuito de apresentar uma solução tecnológica de apoio ao ensino de ciências, foi criado, em 1996, o projeto Virtual Lab (TRAUER; LUZ, 1997b). Esse projeto foi desenvolvido pelo Laboratório de Realidade Virtual do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), cujo objetivo geral era o da criação de novas ferramentas computacionais que permitissem ao aluno interagir com o conteúdo ministrado em aula a partir de experimentos de laboratórios realizados por meio de computador.

Esse projeto consistia, inicialmente, na criação de laboratórios virtuais de química e de física para escolas de 1º e 2º Graus. Como um de seus objetivos específicos, esses laboratórios deveriam ser destinados a plataformas de baixo custo, o que permitiria a sua utilização diante da realidade socioeconômica brasileira. A resposta a essa necessidade foi a adoção da Virtual Reality Modeling

Language (VRML), uma linguagem de programação que permite a utilização de realidade virtual na Internet. Os experimentos para esses laboratórios eram desenvolvidos por uma equipe de profissionais de diversas áreas, tais como especialistas do conhecimento (professores), programadores, modeladores tridimensionais, entre outros. Para cada experimento desenvolvido, pelo menos esse conjunto de profissionais era necessário, além de diversas ferramentas computacionais. Esse tipo de desenvolvimento comprovou-se, principalmente, de alto custo e lento; alto custo devido ao número de recursos envolvidos, tanto humanos quanto de equipamentos e softwares; lento, pois cada experimento precisava ser elaborado unicamente.

Em 1997, foi desenvolvido um projeto para comprovar a possibilidade da utilização de realidade virtual de baixo custo para treinamento, através também de VRML (TRAUER; LUZ, 1997a). O processo de desenvolvimento foi equivalente ao realizado no projeto Virtual Lab. Embora o custo do treinamento em larga escala fosse reduzido, o processo de desenvolvimento apresentou os mesmos fatores limitantes, um procedimento lento e de alto custo.

Em 1997, foi apresentada uma proposta para a criação de uma ferramenta de fácil utilização que auxiliasse na criação de um ambiente de realidade virtual de baixo custo (LUZ, 1997). Basicamente, essa ferramenta previa a centralização da criação de ambientes virtuais para a Internet.

Atualmente, o desenvolvimento de experimentos que usam realidade virtual é realizado por uma equipe de recursos humanos, com diversas ferramentas de desenvolvimento não integradas, conforme citado no projeto Virtual Lab (TRAUER; LUZ, 1997b). Isso ainda implica um processo longo e único, com a necessidade de participação intensiva, principalmente de profissionais da área de ciências da computação.

A experiência adquirida nesses projetos de ensino e de treinamento no desenvolvimento de uma proposta para ambientes virtuais genéricos e as restrições existentes na difusão do conhecimento pelos métodos tradicionais direcionaram o autor do presente trabalho para a concepção de uma plataforma de criação e de manipulação de experimentos virtuais destinada aos profissionais da área da educação que tenha como característica, principalmente, a simplicidade de utilização, visando ao aumento de produtividade.

1.3 Objetivos

Com a expansão da economia mundial, cada vez mais é exigida a qualificação individual, e, para isso ocorrer, a educação precisa ser democratizada. A crescente demanda por educação vem onerando a sociedade de forma nunca antes experimentada. O ensino tradicional, principalmente o de qualidade, que exige que o aluno se desloque até uma instituição, vem se tornando um luxo. Esses fatores vêm reduzindo a quantidade de indivíduos que possuem acesso às instituições de ensino no decorrer dos últimos anos. A manutenção do sistema educacional só poderá coexistir com essas mudanças da sociedade se os seus processos forem atualizados e multiplicados.

1.3.1 Objetivo geral

Considerando-se que o aprendizado utiliza como insumo basicamente o conhecimento, a atividade de aprendizado, dependendo do nível educacional, necessita muito pouco de manipulação e de interação física. Entretanto, as atividades físicas envolvidas no aprendizado não deixam de ser essenciais, e este estudo aborda uma delas: as práticas laboratoriais, presentes nos Ensinos Fundamental, Médio e Superior.

Como, atualmente, não existem sistemas computacionais que espelhem a realidade de um laboratório de ensino, o objetivo geral deste trabalho é **formular um projeto de uma plataforma para criação e manipulação de experimentos para ciências e engenharias utilizando realidade virtual**. Propõe-se que essa plataforma seja utilizada como complementação aos métodos tradicionais, reforçando, inovando e, nos casos de inexistência, permitindo a experimentação prática.

A característica principal da plataforma proposta é a possibilidade de preparação de experimentos em realidade virtual pelo especialista na área, papel que freqüentemente é realizado pelo professor. Os experimentos são compostos de objetos disponíveis em uma biblioteca. A criação dos experimentos deve ocorrer de forma simplificada. Com a oferta de *kits* de objetos apropriados a uma gama de

experimentos, o professor pode selecionar mais rapidamente todos os objetos integrantes da experiência.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- desenvolver um protótipo para a validação da plataforma;
- criar um padrão para experimentos virtuais; e
- proporcionar a reutilização e a interoperabilidade dos experimentos virtuais.

1.4 Resultados Esperados

Espera-se, com o desenvolvimento da plataforma para criação e manipulação de experimentos para ciências e engenharias, que a geração desse tipo de experimentos virtuais possa ser realizada por apenas um usuário, o professor. Com isso, acredita-se em uma crescente expansão do número de experimentos virtuais; conseqüentemente, as bibliotecas de experimentos serão rapidamente preenchidas e muitos poderão usufruir desse meio de conhecimento.

O acesso ao conhecimento através de laboratórios virtuais será mais facilitado, havendo, dessa maneira, maior difusão desse conhecimento. Alunos poderão praticar como jamais tiveram oportunidade, fazendo e refazendo experimentos, e observando-os de diferentes ângulos e pontos de vista. Em grupo, os alunos poderão tirar dúvidas e consultar os professores.

Enfim, com a aplicação deste trabalho, busca-se proporcionar que as pessoas tenham maior acesso aos laboratórios como forma de aprendizagem.

1.5 Estrutura da Tese

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, na qual são apresentadas as principais teorias e tecnologias abordadas neste trabalho.

O capítulo 3 apresenta a proposta de projeto da plataforma para experimentos em realidade virtual.

No capítulo 4 são apresentados os resultados da validação da proposta da plataforma.

Por último, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho e possibilidades para novas pesquisas, seguidas das referências bibliográficas, relacionadas no capítulo 6.

2 REALIDADE VIRTUAL NA EDUCAÇÃO

2.1 Realidade Virtual

2.1.1 Conceitos

Existem diversos conceitos sobre realidade virtual, que abrangem diversas formas de expressão (STEUER, 1992). O termo “realidade artificial” foi cunhado por Myron Krueger (KRUEGER, 1991) na década de 1970 (RHEINGOLD, 1992; STUART, 1996), e sua definição não considera o uso de equipamentos de imersão nem de imagens estereoscópicas. William Gibson criou o termo “Cyberspace” (GIBSON, 1984) no seu livro Neuromancer, de 1984 (RHEINGOLD, 1992), que se refere ao espaço digital encontrado na rede Internet.

Mas o termo “realidade virtual” só foi cunhado em 1989 por Jaron Lanier (KRUEGER, 1991; STUART, 1996). O próprio termo apresenta um contra-senso, pois se trata de uma realidade qualificada como virtual. Esse termo, para Lanier (apud KRUEGER, 1991), é definido como realidades tridimensionais implementadas com a utilização de óculos estereoscópicos e de luvas com captura digital.

Stuart (1996) define **realidade virtual** como o termo utilizado comercialmente e **ambiente virtual** como o termo acadêmico. Além dessa sutil diferença, o autor também menciona que ambiente virtual não reproduz necessariamente a realidade (STUART, 1996). A sua definição estabelece que um sistema de ambiente virtual consiste em

uma interface entre homem e computador que provê ambientes sintéticos tridimensionais multissensoriais imersivos. Esta interface utiliza rastreamento de posição e atualização em tempo real dos dispositivos de visualização, audição, entre outros (por exemplo: tátil), em resposta às ações do usuário, fortalecendo a sensação de

presença no ambiente virtual. Esta ainda pode ser um sistema mono ou multiusuário (STUART, 1996, p. XX).¹

Para Pantelidis (1997), realidade virtual é um ambiente computacional altamente interativo, representado por textos ou gráficos, no qual o usuário interage. Na forma mais avançada, o usuário é imerso nesse ambiente e, na mais simples, ele apenas utiliza um ambiente tridimensional em um computador tradicional (PANTELIDIS, 1997).

Os ambientes de realidade virtual podem ser divididos em imersivos e não imersivos (STUART, 1996; JOHNSON et al., 1999). Os ambientes imersivos utilizam equipamentos para tornar a experiência de utilização do ambiente a mais convincente possível, estimulando o maior número de sentidos do usuário.

Os ambientes não imersivos são compostos de equipamentos básicos que reproduzem esse ambiente apenas utilizando o estímulo visual. Os sistemas que compõem esse tipo de ambiente são geralmente baseados no uso de monitor, mouse e teclado como dispositivos de interação com o usuário.

O conceito de realidade virtual adotado nesta tese é uma variação das definições anteriores, pois permite desde uma interação simples do usuário com o sistema até a interação definida por Stuart (1996). A definição utilizada para realidade virtual, ou ambiente virtual, é a de uma tecnologia de interface avançada entre usuário e sistema computacional. O objetivo dessa tecnologia é recriar ao máximo a sensação de realidade para um indivíduo, levando-o a adotar essa interação como uma de suas realidades temporais. Para isso, essa interação é realizada em tempo real, com o uso de técnicas e de equipamentos computacionais que ajudem na ampliação do sentimento de presença do usuário. As tecnologias computacionais mais utilizadas atualmente são imagens tridimensionais, áudio, vídeo, rede, sistemas multiusuário e cooperativos, e equipamentos tais como luva digital, óculos estereoscópicos, capacete de imersão, teclado, mouse, monitor e dispositivo de retorno háptico – como os controladores de jogo ou equipamentos com *force feedback*, que auxiliam na imersão do usuário nos sistemas. A sutileza dessa definição está na não-restrição do termo à utilização de equipamentos e técnicas.

¹ Tradução do autor.

2.1.2 Histórico

O desenvolvimento da realidade virtual tem suas raízes no começo da era da computação e foi estimulado pela utilização de simuladores de voo para o treinamento de pilotos, desde a década de 1950 (RHEINGOLD, 1992; STUART, 1996), principalmente pela versatilidade dos sistemas e pela redução de custos. A criação do Sensorama Simulator (RHEINGOLD, 1992; STUART, 1996), no começo da década de 60, também teve um efeito positivo para a área de realidade virtual. Embora o ambiente desse simulador não fosse gerado computacionalmente e em tempo real, ele teve como base técnicas para o estímulo dos sentidos do ser humano, posteriormente utilizadas para a realidade virtual.

O trabalho considerado um marco no desenvolvimento da realidade virtual foi realizado por Ivan Sutherland, na década de 1960. O artigo *The Ultimate Display* (SUTHERLAND, 1965) apresenta a sua pesquisa em interfaces computacionais e serviu como base para o primeiro sistema de realidade virtual. O ambiente foi criado artificialmente por um computador e permitia que o usuário do sistema interagisse em tempo real, tendo como retorno imagens tridimensionais. Para isso, o usuário utilizava um aparato eletroóptico que apresentava as imagens, além de tridimensionais, estereoscópicas. Esse tipo de aparato foi denominado, em inglês, de *head mounted display* (HMD), mais conhecido em português como capacete de realidade virtual.

2.1.3 Aplicações

As aplicações para essa tecnologia são muito abrangentes. Inicialmente, os sistemas de realidade virtual foram desenvolvidos, sobretudo, para as áreas militar e médica (RHEINGOLD, 1992). Hoje, as aplicações dessa tecnologia são encontradas em diversos setores, tais como: entretenimento, pesquisa e desenvolvimento, psicologia, ergonomia, educação, indústria aeroespacial, treinamento, automobilística. As principais utilizações nessas áreas são: treinamento, educação, avaliação, tratamento, simulação e interação com novas teorias.

2.1.4 Pesquisa

Algumas das áreas de pesquisa em realidade virtual são: ambientes virtuais distribuídos, novos equipamentos, algoritmos e técnicas de criação de imagem em tempo real, avatares, linguagens, interfaces e teleoperação (RHEINGOLD, 1992; STUART, 1996; BARFIELD; FURNESS, 1995).

2.1.5 Aspectos de desenvolvimento

Para a criação de sistemas com realidade virtual, é necessário que coexistam os seguintes elementos (STUART, 1996):

- objetivo para o qual o sistema de realidade virtual está sendo desenvolvido;
- ambiente virtual, o qual é gerado por computadores através de bibliotecas e aplicativos computacionais, e cria os aspectos funcionais; e
- equipamentos para interação bidirecional entre usuário e computador.

Para se desenvolver um sistema com realidade virtual, é importante que seja considerada pelo menos uma destas situações:

- risco à segurança (PANTELIDIS, 1997; LUZ, 1997);
- sensação de presença (STUART, 1996; ZACHMANN, 1998; BARFIELD et al., 1995);
- alta interatividade, com o estímulo de múltiplos sentidos (PANTELIDIS, 1997; SALDIA, 1999);
- interação real com objetos virtuais (ZACHMANN, 1998);
- realização de atividades impossíveis na prática (PANTELIDIS, 1997; LUZ, 1997; WINN, 1993); e
- atividades com um custo muito elevado e acesso difícil ou restrito (PANTELIDIS, 1997; STUART, 1996; BARFIELD; FURNESS, 1995).

Além de se considerar a situação à qual se destina a aplicação, existem algumas restrições quanto ao seu uso em larga escala. A principal restrição está relacionada ao alto custo envolvido no desenvolvimento da aplicação. Esse custo é proporcionado, principalmente, pelo elevado número de equipamentos e softwares especiais envolvidos em um sistema de realidade virtual (BARFIELD; FURNESS, 1995). Outras restrições para a aplicação dessa tecnologia como uma alternativa viável são:

- o alto custo de desenvolvimento, o que impede a ampla difusão desse tipo de sistema; e
- a reduzida possibilidade de uma distribuição do sistema sem uma estratégia adequada, principalmente quando da inexistência de uma padronização de equipamentos.

Selecionados a área e o objetivo da aplicação, é necessária a seleção de softwares, equipamentos computacionais e periféricos que irão integrar a solução do problema a ser resolvido.

Atualmente, há diversas plataformas de desenvolvimento para sistemas de realidade virtual. Entre essas plataformas, existem as desenvolvidas para a solução genérica de problemas e também para a solução de problemas em áreas específicas do conhecimento humano. Dependendo do tipo de distribuição da aplicação em desenvolvimento, livre ou comercial, estão disponíveis plataformas e bibliotecas de realidade virtual com uso e distribuição gratuitos. Algumas dessas plataformas também podem ser utilizadas comercialmente, mediante pagamento de licenças. Além de plataformas livres, existem as comerciais, que são desenvolvidas por empresas da área. Algumas dessas plataformas são apresentadas na Figura 2.

Nome	Tipo de distribuição	Desenvolvedor	Linguagem	Sistemas operacionais
Maverick ²	Pública – Sob licença	Universidade de Manchester, Inglaterra	C	Windows, MacOS e Unix
MR Toolkit ³	Pública – Sob licença	Universidade de Alberta, Canadá	C, C++ e Fortran	Unix, Windows
VR Juggler ⁴	Pública – Sob licença	Universidade Estadual de Iowa, EUA	C++	Unix, Windows
Cortona ⁵	Privada	Parallel Graphics	Qualquer uma através de ActiveX	Windows
WTK ⁶	Privada	EAI	C	Unix, Windows

Figura 2 – Quadro com resumo de bibliotecas para realidade virtual

A utilização de equipamentos especiais para realidade virtual tem como objetivo auxiliar o usuário na sensação de realidade do sistema. Por esse motivo, os equipamentos são desenvolvidos para estimular os sentidos dos seres humanos: visual, auditivo, tátil, olfativo, gustativo. Como exemplo são relacionados alguns equipamentos na Figura 3. Ainda não estão disponíveis comercialmente equipamentos que agucem os sentidos olfativo e gustativo, mas são objeto de pesquisa (KELLER et al., 1995; BARDOT et al., 1992).

No mercado já existem diversos equipamentos para realidade virtual. Entretanto, como o universo de aplicações da realidade virtual é vasto, não existe uma metáfora de comunicação entre usuário e sistema como há atualmente nos sistemas computacionais com interfaces bidimensionais. Embora possa ocorrer essa padronização para segmentos específicos, para um sistema único, que pode ser utilizado em todas as aplicações, tal padronização ainda é um objetivo complexo.

² <http://aig.cs.man.ac.uk/maverik/index.htm>.

³ <http://www.cs.ualberta.ca/~graphics/MRTToolkit/>.

⁴ <http://www.vrjuggler.org/>.

⁵ <http://www.parallelgraphics.com/>.

⁶ <http://www.sense8.com>.

Tipo	Sentidos	Produtos
Luva	Tátil	Pinch Glove
Capacete	Visual e auditivo	i-glasses 3D, VFX 3D
Óculos estereoscópicos	Visual	CrystalEyes, 3D Revelator Glasses
Dispositivo para toque	Tátil	Phantom

Figura 3 – Lista de equipamentos para realidade virtual

Além dos equipamentos existentes no mercado, diversos outros estão sendo desenvolvidos para o uso em conjunto com essa tecnologia.

2.2 Utilização Racional do Conhecimento

Atualmente, com a democratização da informação e com a crescente necessidade de reutilização do conhecimento, a fim de se acelerarem os processos de aprendizado, vem sendo estimulada a criação de padrões internacionais para o armazenamento e troca de conhecimento entre sistemas de ensino.

Na área de educação, existem diversos consórcios que trabalham na padronização de conteúdos educacionais visando à reutilização destes em diversos sistemas de ensino em funcionamento (DODDS, 2001a). Como resultado desses trabalhos, surgiram diversos padrões ou especificações, entre os quais se destacam os seguintes: Shareable Content Object Reference Model (SCORM – Modelo de Referência para Objetos de Conteúdo Compartilhados)⁷, IMS Global Learning Consortium⁸, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Learning Technology Standards Committee (LTSC)⁹, Aviation Industry CBT Committee (AICC)¹⁰ e Alliance of Remote Instructional Authoring & Distribution Networks for Europe (ARIADNE)¹¹.

⁷ <http://www.adlnet.org/>.

⁸ <http://www.imspjproject.org/>.

⁹ <http://ltsc.ieee.org/>.

¹⁰ <http://www.aicc.org/>.

¹¹ <http://www.ariadne-eu.org/>.

A reutilização de conteúdos educacionais e a sua interoperabilidade podem ser atingidas por meio da utilização de objetos de conhecimento. Através de objetos de conhecimento, é possível reutilizar o mesmo conteúdo em diversos contextos educacionais.

Objeto de conhecimento é uma metodologia para a organização do conhecimento em um modelo independente, baseado no paradigma da orientação a objetos da computação. Esses objetos de conhecimento tendem a ser atômicos e podem ser reutilizados em diversos contextos (HODGINS, 2001; WILEY, 2000).

Para que um conteúdo seja compartilhado com um maior grau de sucesso, o padrão adotado para seu compartilhamento deve permitir os seguintes fatores: interoperabilidade, reutilização, durabilidade e acessibilidade (DODDS, 2001a).

Entende-se por interoperabilidade a capacidade de o padrão para conteúdos ser utilizado em plataformas diferentes. Para que isso ocorra, os componentes do conteúdo escritos em alguma linguagem computacional devem ser executáveis em diferentes sistemas operacionais, e sua interface deve ser bem definida (DODDS, 2001c).

Reutilização para padrões de conteúdos educacionais é a capacidade de acessar o conteúdo utilizando-se diferentes ferramentas de desenvolvimento.

Durabilidade, por sua vez, é definida como a sobrevida do padrão, podendo os conteúdos ser expressos em versões antigas e, mesmo assim, ser acessados.

A acessibilidade de um padrão é referente à possibilidade de indexação dos elementos, facilitando a sua localização para uso.

A utilização de um padrão educacional proporciona a troca desses elementos entre diversas plataformas de ensino, o que amplia a utilidade do sistema projetado. O padrão utilizado neste trabalho é o SCORM. Esse padrão apresenta as quatro características necessárias para o compartilhamento de conteúdos entre os sistemas de ensino LMS (Learning Management Systems – Sistemas de Gerenciamento de Aprendizagem).

2.2.1 SCORM

O SCORM (DODDS, 2001a) é uma especificação criada pelo Advanced Distributed Learning (ADL) e é encabeçado pelo Departamento de Defesa Norte-Americano (DOD). Essa especificação é baseada em quatro principais padrões da indústria: IMS, IEEE LTSC, AICC e ARIADNE.

Os objetivos do SCORM são acessibilidade, interoperabilidade, durabilidade e reutilização, exatamente aqueles fatores já citados como cruciais ao sucesso de um padrão. Para atingir esses objetivos, atualmente esse modelo se divide em duas grandes partes: Modelo de Agregação do Conteúdo e Ambiente de Execução.

O Modelo de Agregação do Conteúdo é o padrão de agrupamento do conteúdo educacional. Em seu estado final, ele é encontrado no formato de um arquivo de empacotamento padrão para WEB. A Figura 4 apresenta o pacote, denominado PIF (Package Interchange File), que é subdividido em Manifesto e Arquivos. Dentro de Manifesto, existem os seguintes itens: Metadados, Organizações, Recursos e (sub)Manifesto(s). Na subdivisão Arquivos são armazenados os arquivos físicos, referentes aos metadados do pacote.

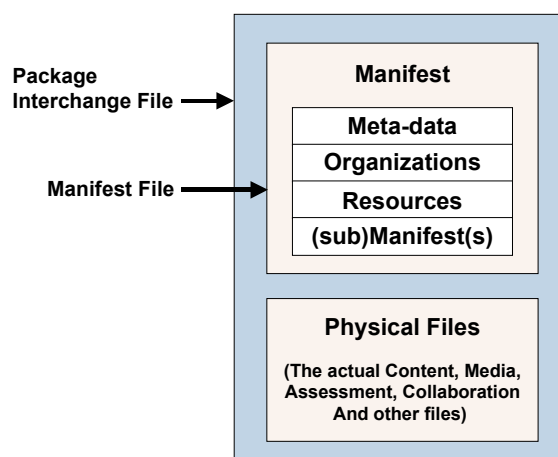


Figura 4 – Pacote de troca de arquivos

Fonte: Dodds (2001b, p. 111)

O Ambiente de Execução (DODDS, 2001c) é a forma de tornar o SCORM uma especificação reutilizável e interoperável. Ele provê a interface entre o conteúdo e um sistema de gerenciamento de ensino (LMS). Esse ambiente permite que um LMS em conformidade com a especificação SCORM inicie e encerre o acesso a um pacote, e acesse-o através de uma Application Program Interface (API) e do modelo de dados.

2.2.2 Sistema UNL

O projeto desse sistema de conhecimento foi iniciado na Universidade das Nações Unidas, em Tóquio, em 1996 (UCHIDA et al., 1999).

O sistema é desenvolvido para uso na Internet e possui uma base de conhecimento global e diversos servidores de linguagem, permitindo que o conhecimento intrínseco em todas as línguas e culturas se unifique.

A base de conhecimento é descrita em UNL, uma linguagem para uso por computadores. UNL significa Universal Networking Language, linguagem que possui uma forte ligação com a linguagem natural, o que permite que a utilização de sua notação através de uma parte do sistema do conhecimento possibilite a comunicação entre as mais diferentes línguas (UCHIDA et al., 1999). Atualmente, já existem iniciativas de implementação do sistema para 16 línguas, que são: árabe, chinês, inglês, francês, alemão, grego, hindu, indonésio, italiano, japonês, coreano, mongol, português, russo, espanhol e tailandês.

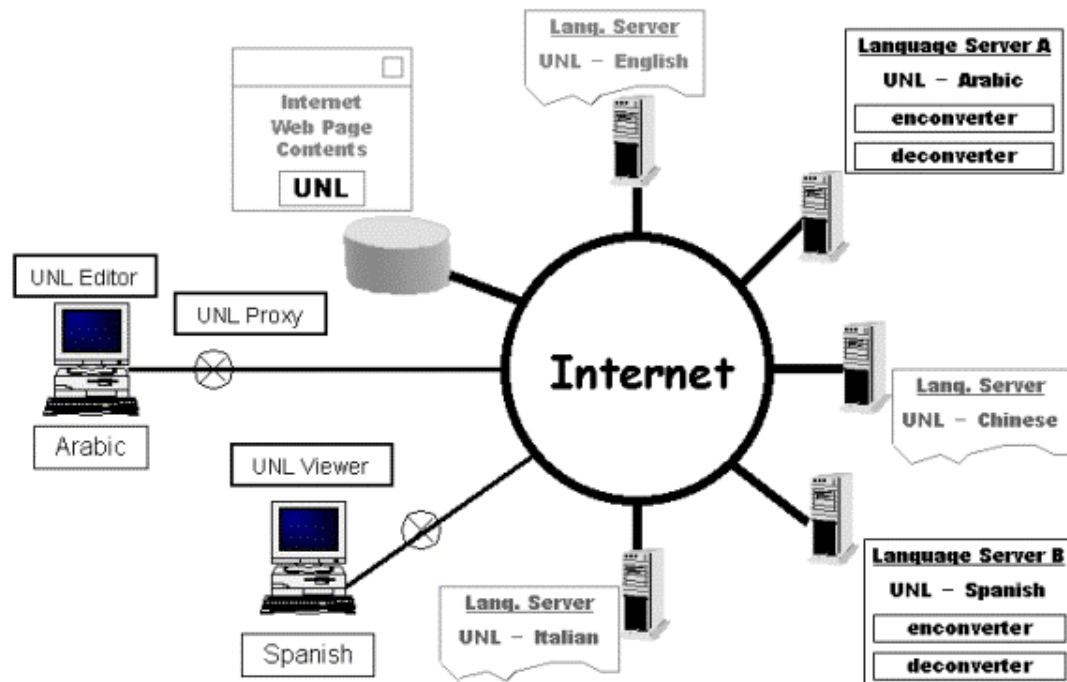


Figura 5 – Diagrama do UNL System

Fonte: Uchida e Zhu (2001)

O diagrama na Figura 5 apresenta os elementos que compõem o UNL system (UCHIDA; ZHU, 2001). Eles são:

- UNL: formada por palavras universais – UW, relacionamentos, atributos e base de conhecimento;
- servidores de linguagens que contêm dois aplicativos:
 - Enconverter: este aplicativo transforma uma língua natural em UNL utilizando regras de análise para a língua nativa e um dicionário na língua; e
 - Deconverter: este aplicativo transforma de UNL para uma língua natural com a ajuda das regras de geração da linguagem-destino e do mesmo dicionário utilizado no Enconverter;
- ferramentas básicas: visualizador e editor de UNL, desenvolvidos para visualizar e editar documentos UNL utilizando as línguas nativas.

Um exemplo de utilização do sistema UNL pode ser observado no diagrama da Figura 5. Um usuário de língua árabe utilizando o editor de UNL em sua língua nativa digita um texto que é transformado para UNL através do Enconverter situado no servidor de língua árabe. Após a finalização desse texto, o usuário arquiva-o em um servidor WEB (UCHIDA; ZHU, 2001).

Um segundo usuário, cuja língua nativa é o espanhol, utilizando um visualizador de páginas da WEB, acessa o *site* onde foi arquivado o texto em UNL. Através de um *proxy*, é detectado o conteúdo em UNL. O *proxy* tem como função realizar a ponte entre o conteúdo UNL e o usuário de língua espanhola, redirecionando os dados de forma a, utilizando o servidor de língua espanhola, transformar o texto de UNL e apresentá-lo em espanhol ao usuário através do Deconverter (UCHIDA; ZHU, 2001).

2.3 Uso da Realidade Virtual na Educação

Como se destacou anteriormente, a área educacional vem crescendo substancialmente na área de informática. Hoje, são encontradas no mercado diversas soluções educacionais para diferentes níveis de escolaridade e áreas do conhecimento.

A utilização da realidade virtual na educação vem ocorrendo desde o começo da década de 90, com aplicações desenvolvidas para atividades específicas e também para fins de avaliação dessa tecnologia como uma ferramenta educacional (BRICKEN, 1990; BYRNE, 1993; YOUNGBLUT, 1998). Infelizmente, os estudos de avaliação ainda são escassos e não provam a efetividade do uso da realidade virtual na educação (CRONIN, 1997), mas suas capacidades são promissoras (YOUNGBLUT, 1998; JOHNSON et al., 1999).

2.3.1 Teorias pedagógicas

A teoria pedagógica apontada por diversos autores (BYRNE, 1996; BRICKEN, 1990; NEALE et al., 1999) como a mais utilizada em sistemas educacionais com realidade virtual é a construtivista. Basicamente, o construtivismo

é baseado no desenvolvimento do conhecimento pela experiência, mas esta não é a única teoria que pode ser aplicada utilizando-se realidade virtual (YOUNGBLUT, 1998; CRONIN, 1997; NEALE et al., 1999). Outras teorias podem ser também aplicadas, como, por exemplo, a narrativa (JOHNSON et al., 1999; YOUNGBLUT, 1998), o socioculturalismo (DEDE et al., 1999) e o colaboracionismo (DEDE et al., 1999; JOHNSON et al., 1999; BYSTROM; BARFIELD, 1999).

2.3.2 Colaboração

Os chamados ambientes virtuais colaborativos (CVE – Collaborative Virtual Environment) são sistemas centrados na cooperação entre usuários. Eles são desenvolvidos para o uso através de redes de computadores, para que ocorra a interação de diversos usuários ao mesmo tempo. Os usuários podem estar próximos, como no compartilhamento de um mesmo computador, com diversas interfaces com o usuário, ou espalhados por diversos pontos no mundo. Cada usuário acessa o ambiente através de interface individual, explorando o ambiente virtual. Um CVE deve contar com as seguintes características (SINGHAL; ZYDA, 1999):

- compartilhar a mesma sensação de espaço entre os usuários;
- compartilhar um sentido de presença através de representações dos usuários no ambiente virtual;
- compartilhar a mesma sensação de tempo, sendo essencial que os dados sejam transmitidos e recebidos em tempo real;
- prover uma forma de comunicação entre os usuários (texto, voz, gestos); e
- prover uma forma de compartilhar dados entre os usuários e também com o ambiente.

2.3.3 Vantagens e desvantagens

A aquisição de conhecimento por meio da imersão em um sistema de realidade virtual é semelhante ao que ocorre no mundo real. Conforme a teoria

cognitiva e por meio da imersão em um sistema de realidade virtual, é possível alcançar o aprendizado como se estivesse ocorrendo uma experiência no mundo real. Essa transformação de uma informação abstrata em algo tangível é importante devido ao modo como pensamos (WINN, 1993).

Com a abstração de alguns aspectos de Pantelidis (1997), em que são citadas algumas razões para a utilização de realidade virtual no ensino de engenharia, e com a compilação de mais alguns autores, são apresentados os seguintes fatores para o uso da realidade virtual na educação de uma forma geral:

- promove maior motivação nos usuários (PANTELIDIS, 1997; NEALE et al., 1999);
- pode representar o conteúdo de uma forma melhor do que através de outras tecnologias (PANTELIDIS, 1997; SALZMAN et al., 1999);
- possibilita uma análise em nível tanto microscópico quanto macroscópico de objetos (PANTELIDIS, 1997; WINN, 1993; SALZMAN et al., 1999);
- permite que pessoas com restrições participem de atividades físicas de ensino impraticáveis tradicionalmente (PANTELIDIS, 1997);
- expande a compreensão de um conteúdo por meio de diferentes pontos de vista (PANTELIDIS, 1997; MILLS; DE ARAÚJO, 1999; DEDE et al., 1999); e
- promove a interação com o conteúdo, tornando o usuário um participante ativo (PANTELIDIS, 1997; SALZMAN et al., 1999).

De acordo com vários pesquisadores da área (BROOKS JR, 1998; DEDE et al., 1999), as principais desvantagens do uso de realidade virtual na educação são:

- apresentar um alto custo de desenvolvimento e para a aquisição dos equipamentos (BROOKS JR, 1998; PANTELIDIS, 1997; STUART, 1996; BARFIELD; FURNESS, 1995);
- ter reduzida a ergonomia dos equipamentos, o que causa desconforto e, às vezes, perigo em sua utilização (SEIDEL, 1997; DEDE et al., 1999);
- poder acentuar problemas psicológicos e problemas de equilíbrio em alguns usuários, dependendo do usuário e do período de exposição (PANTELIDIS, 1997; BURDEA, 1996); e

- ainda existir uma reduzida quantidade de profissionais na área (SUTHERLAND et al., 1998).

Para que sistemas sejam altamente difundidos para a utilização dessa tecnologia, principalmente no Brasil, é essencial que a tecnologia seja operacional em equipamentos de baixo custo. Ultimamente, com os avanços do mercado de equipamentos, é possível ter uma configuração básica de equipamentos, isto é, microcomputadores pessoais com sistema operacional Windows e com dispositivos de interface mínimos, como mouse, teclado e monitor.

2.4 Projetos em Realidade Virtual na Educação

Atualmente, existem alguns projetos acadêmicos com realidade virtual na educação, entre os quais se destacam: ScienceSpace (DEDE et al., 1999), NICE (JOHNSON et al., 1999), Blackwood (SLATOR et al., 1999), DEVRL (BRNA; ASPIN, 1998) e LAAPhysics (LAAPHYSICS, 2002).

O projeto ScienceSpace consiste em uma coleção de ambientes virtuais desenvolvidos para pesquisar a respeito da imersão física e da percepção multissensorial. Essa coleção é representada por três ambientes, NewtonWorld, MaxwellWorld e PaulingWorld, que possuem uma limitada ação dos alunos e não têm a intenção de servir como suporte para outros experimentos além dos desenvolvidos pelos pesquisadores. A interação do aluno com o ambiente ocorre mediante o uso de equipamentos de realidade virtual imersiva.

NewtonWorld é um ambiente que permite a exploração da cinética e da dinâmica uniaxial. A Figura 6 apresenta uma esfera dentro do ambiente NewtonWorld. O estudo de campos e de forças eletrostáticas pode ser explorado utilizando-se o MaxwellWorld (DEDE et al., 1999). O ambiente denominado de PaulingWorld permite o estudo de cinco estruturas moleculares em uma variedade de representações.

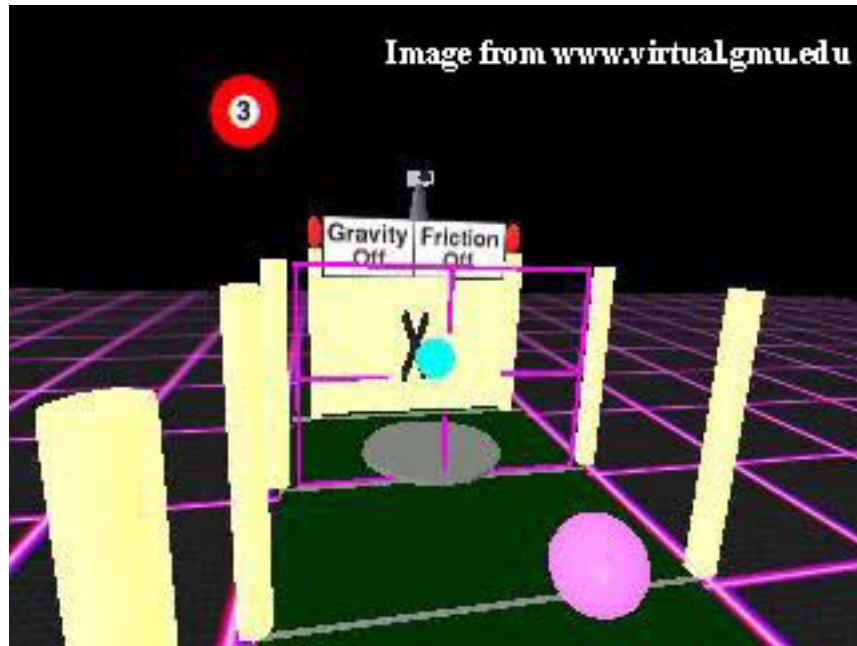


Figura 6 – NewtonWorld
Fonte: ScienceSpace (2001)

O projeto NICE (Narrative Immersive Constructionist/Collaborative Environments) visa à criação de um ambiente baseado nas teorias construtivista, narrativa e colaborativa para o ensino. Ele foi projetado para ser utilizado primariamente sob a plataforma CAVE (Figura 7), mas pode ser utilizado também com equipamentos similares menos onerosos. Existe um módulo para WWW que permite o acesso ao mesmo ambiente.



Figura 7 – Aluno interagindo com o ambiente do NICE
Fonte: Johnson et al. (1999)

Nesse primeiro ambiente desenvolvido, os alunos – no caso, crianças – visitam um jardim com o objetivo principal de mantê-lo “vivo” (Figura 8). Nesse ambiente, existem agentes inteligentes que direcionam os alunos para os principais

pontos. Os alunos podem colaborar entre si para a conclusão da tarefa. O ambiente continua ativo mesmo após o encerramento da sessão, sendo possível utilizá-lo posteriormente ou também acessá-lo pela WWW (JOHNSON et al., 1999).



Figura 8 – Representação de um aluno (avatar) plantando

Fonte: Johnson et al. (1999)

Um sistema que revive uma cidade do oeste americano do século XIX é a descrição do projeto educacional designado Blackwood (SLATOR et al., 2001). Esse sistema faz parte de um projeto desenvolvido pelo World Wide Web Instructional Committee (WWWIC). O objetivo desse comitê é a pesquisa e desenvolvimento de sistemas que ensinem os processos e as estruturas científicas, tais quais: método científico, resoluções de problemas científicos, dedução, formação de hipóteses e projeto e testes experimentais. Além disso, o comitê visa utilizar esses conhecimentos em ciências para outras áreas, como história, antropologia e macroeconomia (SLATOR et al., 2001). Nessa cidade virtual, os alunos devem assumir papéis como habitantes e desempenhar funções que influenciem eventos históricos. A Figura 9 apresenta a interface atual do projeto. Embora a representação do ambiente não seja realizada utilizando-se gráficos tridimensionais, alguns pesquisadores ainda consideram esse tipo de sistema como realidade virtual (JOHNSON et al., 1999; BELLMAN, 1997).



Figura 9 – Interface atual de Blackwood

Fonte: Slator et al. (2001)

O projeto DEVRL (Distributed Extensible Virtual Reality Laboratory) criou vários experimentos de física dentro de um laboratório virtual. Esses experimentos foram desenvolvidos por uma equipe de pesquisadores – programadores, modeladores, projetistas de interface, entre outros – e abrangem movimento, balanço e fricção. A Figura 10 apresenta o experimento sobre fricção. Os experimentos foram criados com a intenção de avaliar a aquisição do conhecimento e, principalmente, a interação entre os usuários em um ambiente virtual. O laboratório foi desenvolvido utilizando-se DIVE (Distributed Interactive Virtual Environment) e estações gráficas da SGI (BRNA; ASPIN, 1998).

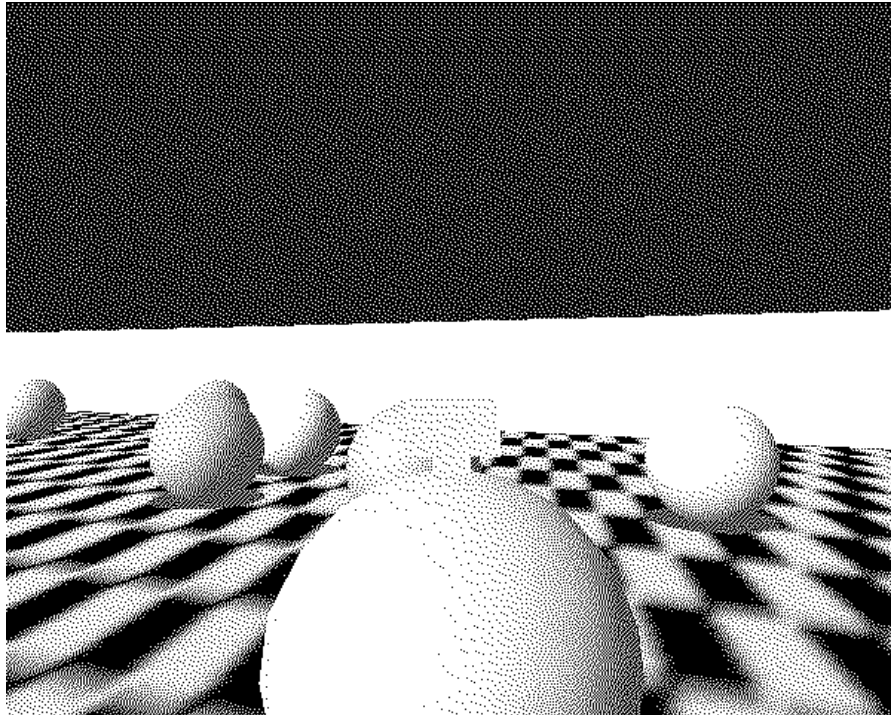


Figura 10 – Experimento de fricção

Fonte: Brna e Aspin (1998)

O projeto LAAPhysics envolve a criação de um currículo interativo de física para nível universitário. O projeto disponibilizará um ambiente de aprendizado através de um laboratório on-line e de uma apostila complementar. As atividades no laboratório contarão como crédito de disciplinas básicas de física. Os assuntos dos experimentos envolverão movimento, momento, forças, ondas, óptica, eletromagnetismo, mecânica quântica e física nuclear. O sistema está sendo desenvolvido utilizando-se Java, Java3D e também uma linguagem própria de roteiro (LAAPHYSICS, 2002). A Figura 11 apresenta um experimento em teste.

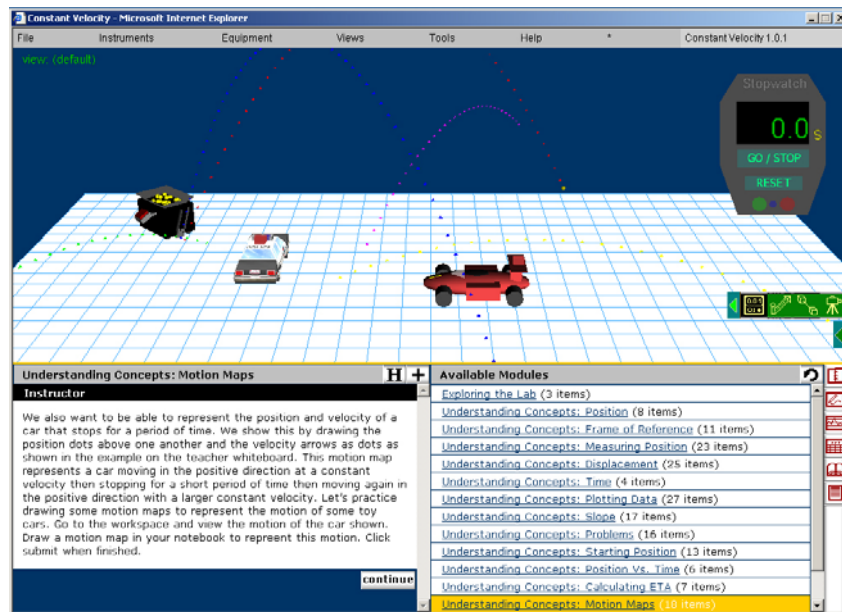


Figura 11 – Tela do atual desenvolvimento do projeto LAAPhysics

Fonte: LAAPhysics (2002)

A Figura 12 apresenta uma sucinta comparação entre os projetos de pontos importantes relativos a este trabalho.

Projeto	Ferramentas	Equipamentos	Tipo	Abordagem	Objetivo
ScienceSpace	VR-Tool (NASA)	SGI Onyx RE2 / Indy Rastreadores de posição	Imersivo	Construtivismo e colaboração	Pesquisar imersão e percepção multissensorial
NICE	CALVIN/ Graphical Story Writer/ VRML/ JAVA	CAVE e similares	Imersivo e não imersivo	Construtivismo, colaboração e narrativa	Criar um ambiente virtual de ensino baseado em construtivismo, narrativa e colaborativismo
Blackwood	JAVA/HTML	PCs e servidores	Não imersivo	Jogo	Ensinar economia
DEVRL	DIVE	Estações de trabalho SGI	Imersivo e não imersivo	Colaboração	Avaliar o aprendizado e a interação entre os usuários
LAAPhysics	JAVA/ JAVA3D/ LPML	PCs e servidores	Não imersivo	Modelagem física	Ensinar física básica

Figura 12 – Quadro com resumo de projetos educacionais com realidade virtual

Entre os projetos listados na figura acima, nenhum apresentou a capacidade de interoperabilidade do conteúdo e também a possibilidade de criação de novos conteúdos por parte de professores. Além desses fatores, os experimentos desses projetos foram preparados e testados por profissionais, limitando as possibilidades de ações dos professores e tolhendo suas imaginações. Ademais, todos são atrelados a abordagens educacionais, sem que o professor tenha a liberdade de escolha.

Entretanto, esses projetos são excelentes iniciativas para a área de realidade virtual e educação.

3 PROPOSTA DE PROJETO DA PLATAFORMA

3.1 Introdução

Neste capítulo é apresentada a proposta de projeto de um sistema para a criação e utilização de experimentos virtuais, e também são apresentados os requisitos para a plataforma e os principais diagramas do sistema proposto.

A utilização desses experimentos se dará por meio tanto de uma plataforma específica quanto de sistemas de gerenciamento de ensino que adotem esse mesmo padrão, devido à estruturação dos dados e à adoção de um padrão internacional para a distribuição de conhecimento.

Os principais objetivos dessa plataforma são:

- facilidade de criação de experimentos por detentores do conhecimento;
- interoperabilidade e compartilhamento desses experimentos através de padrões industriais; e
- aumento do acesso de alunos ao conhecimento.

Para alcançar os objetivos da plataforma, a proposta do projeto foi centrada nesses objetivos, reservando menor importância a outros aspectos do sistema.

A proposta para a criação de um sistema de experimentos virtuais (Virtual Reality Experiment Laboratory – VREL) seguiu a metodologia orientada a objetos, com desenvolvimento incremental e interativo (JALOTE, 1991), e a notação utilizada foi a Unified Modeling Language (UML).

3.2 Requisitos

Durante a pesquisa foi constatada a necessidade da criação de ferramentas computacionais de auxílio ao ensino, como apresentado no capítulo 1.

Inicialmente, foram realizadas entrevistas com professores de disciplinas que utilizam laboratórios para poder entender tanto o processo quanto as necessidades de experimentos (SCHMULLER, 1999; WOOD; SILVER, 1995).

As entrevistas e também a revisão bibliográfica levaram ao desenvolvimento dessa proposta. Através dos dados levantados, foram possíveis a criação e a especialização dos casos de uso, que posteriormente levaram à criação dos demais diagramas do sistema.

Basicamente, os requisitos iniciais para o sistema são:

- criação de conteúdo (experimentos) facilitada;
- reutilização desses experimentos por todos os professores;
- acesso ao sistema de qualquer computador pela internet ou rede da instituição (professores);
- disponibilidade de inúmeros objetos para a criação de experimentos;
- objetos já preparados para determinados experimentos;
- fácil publicação dos experimentos;
- possibilidade de os alunos realizarem os experimentos em grupo;
- possibilidade de acompanhamento e ajuda de alunos durante a realização do experimento;
- possibilidade de inclusão de avaliação e de conteúdo de suporte; e
- utilização dos experimentos em sistemas de ensino pela WWW já disponíveis na instituição.

Mediante os requisitos iniciais, foram mapeados os requisitos técnicos para a implementação da plataforma. Os requisitos técnicos para a plataforma são:

- utilização de realidade virtual;
- execução dos experimentos em modo individual e também colaborativo, com suporte para voz e vídeo;
- plataforma que opere em diferentes equipamentos e sistemas – multiplataforma;
- estrutura baseada em cliente-servidor;
- interface análoga à realidade, usando como metáfora a utilização de um laboratório real;

- reconhecimento de voz e sintetizador de voz para a interface;
- utilização de diversos equipamentos de realidade virtual, desde não imersivos até imersivos;
- baixa latência, tanto na transmissão de rede quanto no ambiente virtual;
- adoção de padrões visando à interoperabilidade do sistema; e
- tradução em tempo real para diversas línguas com o uso da tecnologia UNL.

A necessidade de utilização do sistema por alunos em qualquer computador que funcione através da WWW implicou a necessidade de se desenvolver essa plataforma em alguma linguagem para esse meio.

3.3 Projeto da Plataforma

O projeto dessa proposta foi desenvolvido utilizando-se a notação UML (STEVENSON, 2000). A descrição de um sistema em UML pode ser composta dos seguintes diagramas: casos de uso, classes, seqüência, colaboração, atividades, estados, componentes e distribuição (RUMBAUGH et al., 1999).

A utilização de um modelo iterativo e progressivo (JALOTE, 1991; SCHMULLER, 1999; RUMBAUGH, 1991) foi adotada, pois, como esta é uma proposta e não um projeto final, tornou este modelo ainda mais funcional. As contribuições à medida que o sistema foi sendo desenvolvido ajudaram em muito seu estado atual. O modelo proposto leva em consideração que o projeto seja desenvolvido em toda a sua plenitude, em etapas delimitadas, para se reduzir o risco de o produto final ser inadequado aos desejos do usuário (QUATRANI, 2000; RUMBAUGH, 1991). As etapas são as tradicionais da engenharia de software: requisitos, análise, projeto, implementação e testes (JALOTE, 1991; SCHMULLER, 1999; RUMBAUGH, 1991).

Após a fase da coleta dos requisitos, é feita a análise para a criação do sistema. Nessa fase são criados os diagramas de casos de uso baseados nos requisitos.

A proposta da plataforma compreende um conjunto de programas para a reprodução virtual de laboratórios de ensino, que servirá como uma ferramenta de apoio para conteúdos ministrados de outras maneiras, e não como um substituto de outras tecnologias (DEDE et al., 1999).

A plataforma está sendo desenvolvida para os seguintes públicos-alvo: alunos de Ensino Médio, alunos de Ensino Superior e professores em reciclagem. Além do baixo custo dos equipamentos para a utilização da plataforma proposta, outras características são: a utilização independente de sistema computacional, em qualquer lugar e a qualquer tempo, concretizada pelo desenvolvimento da plataforma para WWW através da linguagem Java; e a utilização de padrões industriais.

O nome dado inicialmente ao sistema é Virtual Reality Experiment Laboratory (VREL).

Com esse sistema, será possível realizar as seguintes tarefas com experimentos:

- criar: o professor, com software adequado, poderá criar os mais variados experimentos utilizando os objetos disponíveis nas bibliotecas;
- armazenar: o administrador armazenará os experimentos utilizando diversas taxonomias, inclusive UNL;
- utilizar e reutilizar: alunos e professores poderão realizar esses experimentos tanto através da própria plataforma como também de outras, uma vez que o sistema gera experimentos interoperáveis;
- modificar: o professor poderá modificar experimentos já desenvolvidos, adaptando-os à sua realidade e também à dos alunos;
- ajustar: o professor pode ajustar os atributos dos objetos, restringindo ou ampliando as capacidades destes para que o aluno interaja, dependendo do caso; e
- empacotar: o sistema permite empacotar o experimento em formato padrão, para ser reutilizado e distribuído entre sistemas de ensino.

O sistema está estruturado conforme o diagrama da Figura 13. O projeto consiste de um servidor, três módulos clientes e um agente externo, que desenvolve objetos para o sistema.

A plataforma é formada pelos seguintes módulos: *servidor*, *aluno*, *professor* e *administrador*. Esses módulos podem ser identificados em 3.7.1 *Módulos do sistema*, na Figura 30.

O módulo *servidor* conterá os dados relativos aos usuários, e os demais módulos, os processos referentes aos experimentos e aos acessos individuais à plataforma. Além desses dados, o servidor conterá três bibliotecas: a de experimentos, a de objetos pré-contextualizados e a de objetos. Os objetos têm como base de construção o padrão adotado durante o desenvolvimento do projeto. A Figura 21 apresenta a modelagem básica da classe objeto resultante da pesquisa.

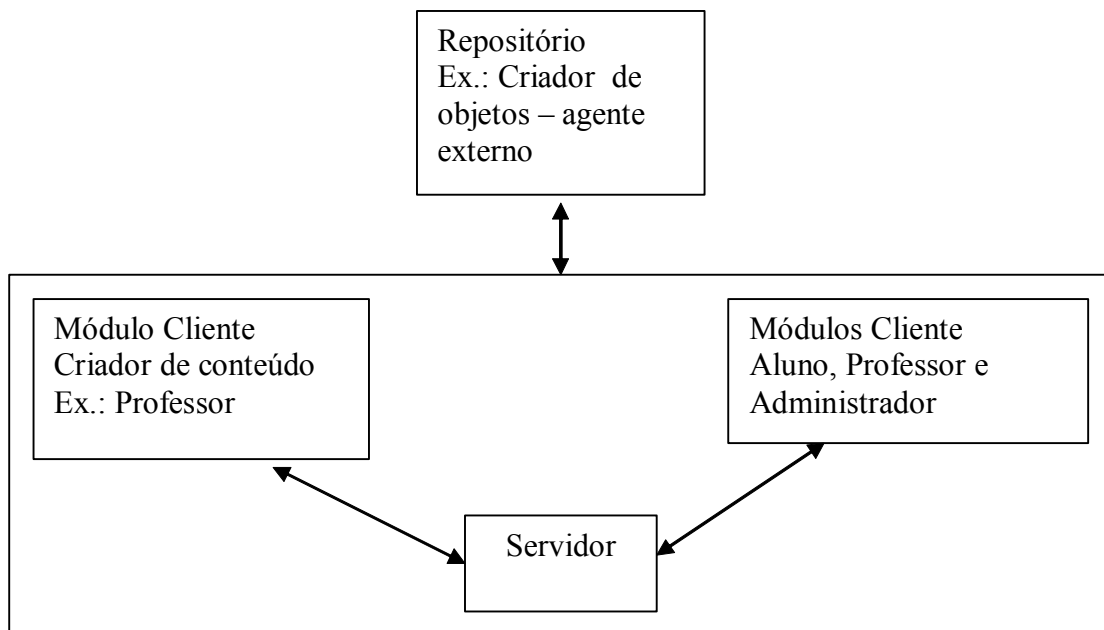


Figura 13 – Estrutura da plataforma VREL

O módulo *professor* permitirá aos usuários cadastrados como professores criar experimentos, avaliar o desempenho de alunos nos experimentos, auxiliar alunos e conduzir experimentos em grupo.

O módulo *aluno* permitirá que alunos acessem os laboratórios criados por professores nos quais estão registrados. Nesses laboratórios poderão conversar com outros alunos e realizar experimentos disponíveis no ambiente. Um aluno poderá convidar outros alunos para realizar os experimentos, como também poderá realizá-los sozinho. O professor poderá entrar na sessão em que estiverem sendo

realizados os experimentos, com o propósito de ajudar, de participar ou apenas de observar.

Optou-se por projetar o sistema baseado em realidade virtual devido à natureza interativa dos experimentos. Mediante esse fato, optou-se pela utilização de uma biblioteca de realidade virtual como base da plataforma, cabendo ao projeto apenas a parte relativa ao sistema de experimentos. Como requisito, é necessário que a biblioteca de realidade virtual tenha como características mínimas ter como paradigma de programação a orientação a objetos e dar suporte múltiplo para apresentação de informações, estimulando o maior número possível de sentidos do usuário, através de:

- seqüenciamento de imagens tridimensionais geradas em tempo real;
- geração de som, com possibilidade de localização espacial;
- interatividade em tempo real entre sistema e usuário, isto é, reduzir o tempo de resposta do sistema quando explorado pelo usuário;
- suporte de modelos tridimensionais de objetos padronizados;
- conexão facilitada com equipamentos para realidade virtual;
- suporte para equipamentos de realidade virtual;
- suporte a ambientes virtuais compartilhados; e
- detecção de colisão.

A Figura 14 apresenta o diagrama de dependência entre o VREL e uma biblioteca de realidade virtual.

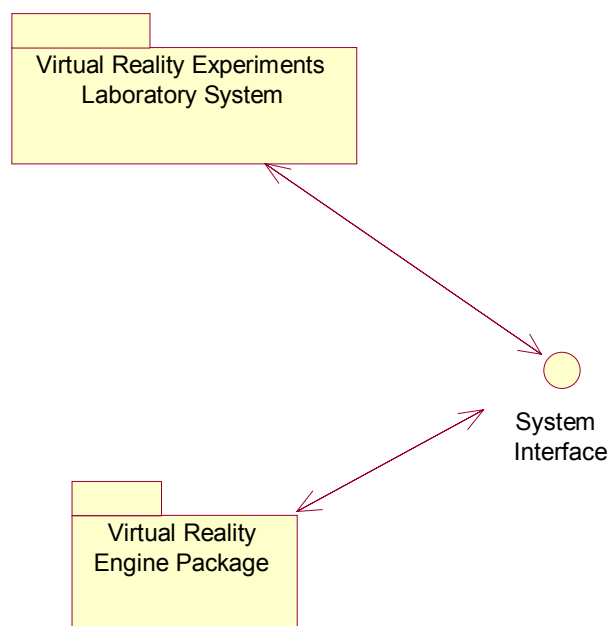


Figura 14 – Diagrama de pacotes com relação de dependência do VREL por uma biblioteca de realidade virtual

3.4 Diferentes Cenários

Existem diferentes cenários possíveis no desenvolvimento de um projeto (RUMBAUGH et al., 1999; QUATRANI, 2000; SCHMULLER, 1999). A definição de cenário é atrelada a um conjunto único de estados e variáveis do sistema, levando a uma seqüência de fatos.

O projeto inicial foi realizado levando-se em consideração a situação ideal, cujos eventos ocorrem em seqüência definida e sem o aparecimento de exceções. Os demais cenários serão tratados à medida que o projeto for sendo refinado e implementado. Na maioria dos casos, os cenários secundários são destinados a tratamentos de exceções (RUMBAUGH et al., 1999; QUATRANI, 2000; SCHMULLER, 1999).

3.5 Casos de Uso

Os casos de uso servem para apresentar as interações de agentes externos com o sistema. Durante as discussões sobre o projeto, isso facilita seu entendimento por parte do cliente (RUMBAUGH et al., 1999).

Com as entrevistas e lista de requisitos disponíveis, foram criados diagramas de casos de uso, apresentados aos professores para validar os requisitos dessa primeira fase do projeto.

Os principais casos de uso do sistema são apresentados na Figura 15 e, além destes, são também apresentados os atores do sistema: *Professor*, *Aluno* e *Administrador*.

O ator *Professor* é a representação dos professores, e suas principais funções são criar e publicar experimentos.

O ator *Aluno* é a representação dos alunos no sistema, e sua principal função é utilizar os experimentos; em outras palavras, colocar a teoria em prática.

O ator *Administrador* é a representação de uma pessoa que realizará a administração do sistema. Suas principais funções são manter os laboratórios virtuais e cadastrar os usuários.

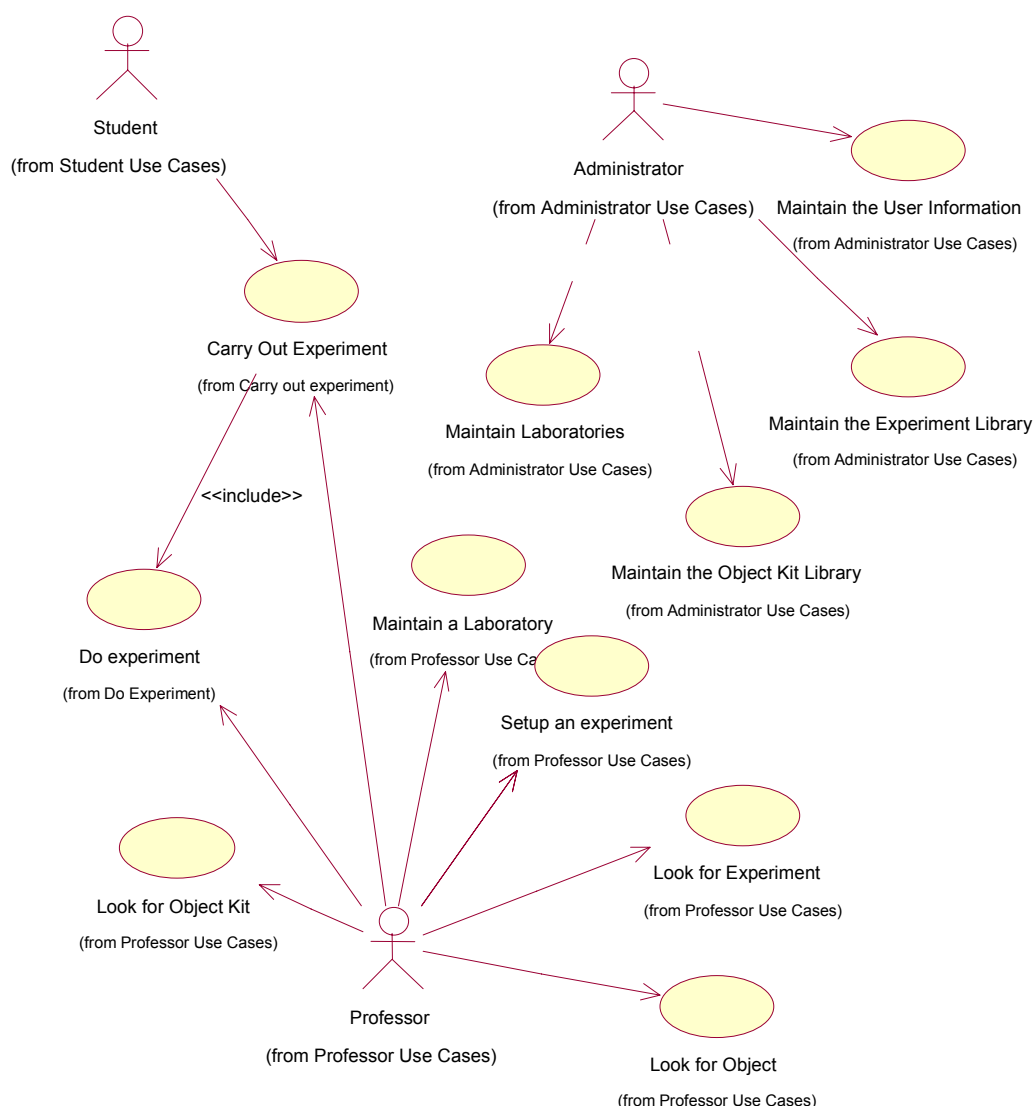


Figura 15 – Diagrama de caso de uso principal do sistema

Esse diagrama descreve sob uma visão de alto nível a interação de seus usuários com o sistema. Conforme os requisitos que geraram o diagrama apresentado na Figura 15, o sistema deve permitir que os atores realizem os seguintes casos de uso:

Professor:

- *ajustar um experimento*: neste caso de uso, o professor, utilizando o sistema, cria um experimento para ser publicado em seu laboratório virtual. Este caso de uso será mais detalhado no diagrama da Figura 17;

- *localizar experimentos, objetos e filtros de objetos pré-configurados*: este caso de uso apresenta a interação entre o professor e o sistema para localização de elementos deste;
- *gerenciar seus laboratórios*: este caso de uso representa as interações entre o professor e os laboratórios das disciplinas com os quais ele é associado;
- *participar de um experimento*: neste caso de uso, o professor pode realizar um experimento que esteja disponível em seus laboratórios, com praticamente os mesmos direitos dos alunos, embora também seja mediador.

Aluno:

- *participar de um experimento*: neste caso de uso, o aluno pode realizar um experimento sozinho, em grupo ou com auxílio do professor. Este caso de uso será mais detalhado no diagrama da Figura 18.

Administrador:

- *manter os dados dos usuários*: neste caso de uso, o administrador cadastra alunos e professores. Também associa professores às disciplinas;
- *manter os laboratórios virtuais*: neste caso de uso, o administrador gerencia a criação dos laboratórios, associando professores e alunos;
- *manter as bibliotecas*: neste caso de uso, o administrador gerencia a inclusão, exclusão e classificação de experimentos, objetos e “kits de objetos”. Esses kits de objetos seriam filtros de objetos previamente moldados para utilização em determinados contextos, sem a necessidade do ajuste de seus parâmetros e funções.

Como já mencionado, apenas os pontos principais da plataforma são abordados neste documento. Os casos de uso principais são: *ajustar um experimento e realizar um experimento*.

O caso *ajustar um experimento* é realizado pelo professor. Este caso de uso é detalhado por meio de um diagrama com outros casos de uso apresentados na Figura 17.

Após o professor acessar o sistema, ele tem a opção de escolher entre uma das atividades que o sistema lhe provê (Figura 16). Para a criação de um experimento, ele deve acessar o caso de uso *ajustar um experimento*.

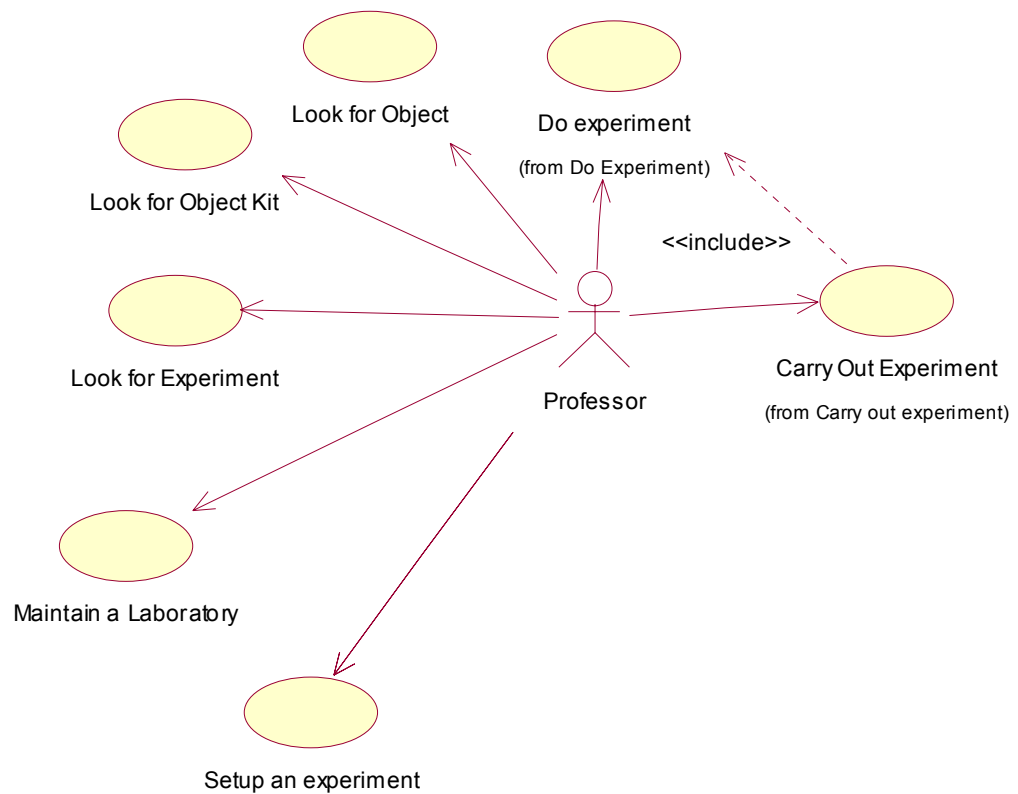


Figura 16 – Casos de uso do professor

Dentro do caso de uso *ajustar um experimento*, encontram-se outros casos de uso, representando ações que o professor terá que realizar para que o experimento seja ajustado, como apresentado na Figura 17. O professor tem a opção de escolher entre criar um novo experimento ou procurar um arquivado na biblioteca. Após essa primeira decisão, ele pode modificar o ambiente. Esse ambiente, inicialmente, pode tanto estar vazio quanto conter o experimento escolhido da biblioteca. Para a criação do experimento, ele pode adicionar ou retirar os seguintes elementos: objetos, relatórios (ou qualquer outro método de avaliação) e instruções (ou qualquer outro conteúdo de apoio à realização do experimento).

Além disso, são habilitados o ajuste de parâmetros dos objetos e a criação dos relacionamentos entre eles, ambiente e interface dos usuários, nesse caso alunos e professores.

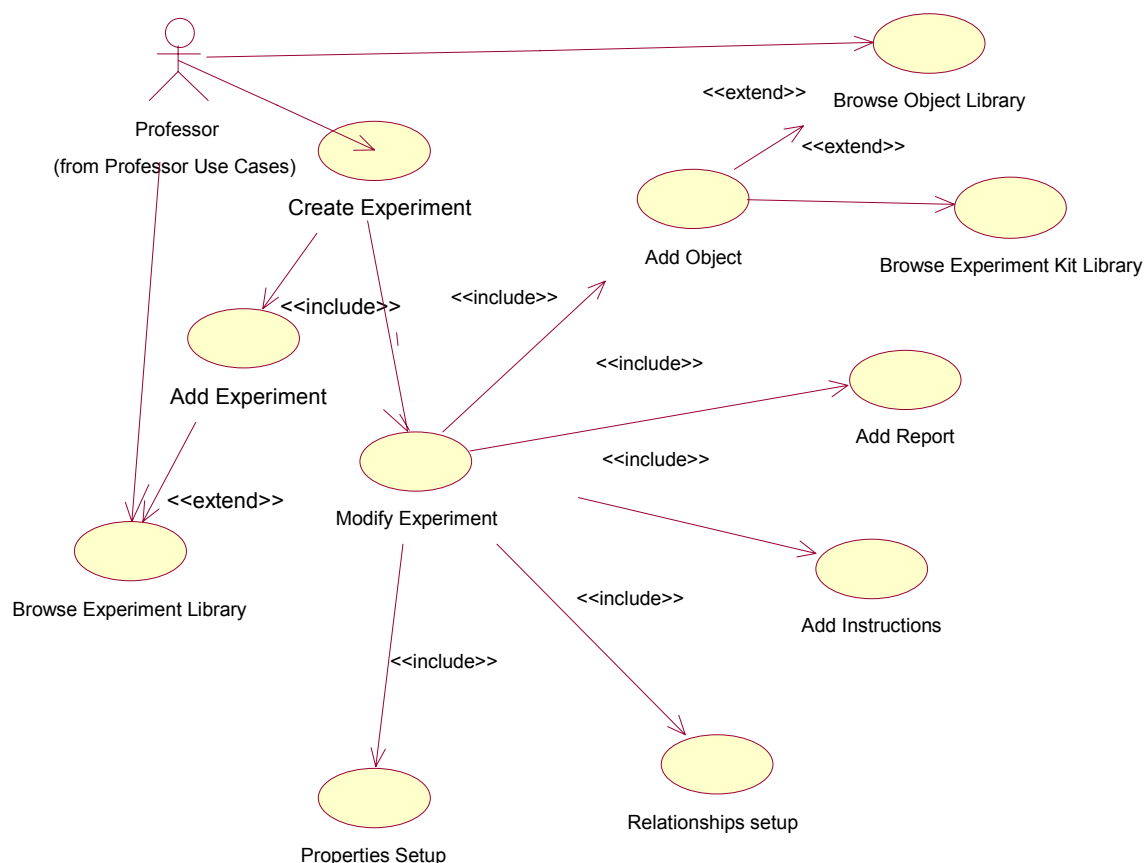


Figura 17 – Diagrama de casos de uso de ajuste de um experimento

O caso de uso *realizar um experimento* é desempenhado por dois atores do sistema, professor e aluno. Para realizar um experimento, o aluno deve acessar o sistema e, através da interface, escolher um laboratório e o experimento que gostaria de realizar. O aluno pode escolher entre realizar o experimento sozinho, em grupo ou até mesmo com auxílio do professor. Após essas seleções, o usuário estará apto a completar as atividades do experimento. A Figura 18 apresenta o diagrama com os casos de uso que compõem o caso de uso *realizar um experimento*.

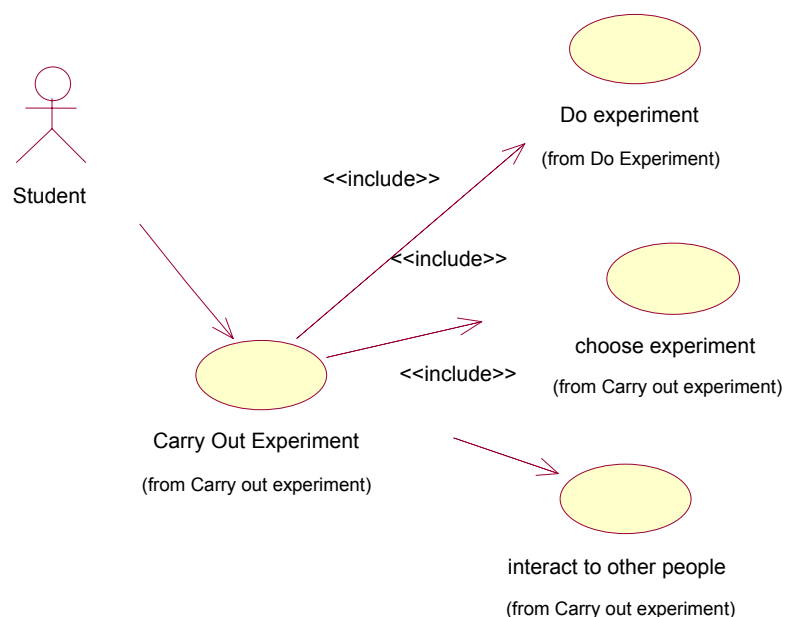


Figura 18 – Diagrama de casos de uso *realizar um experimento*

O mesmo caso de uso, do diagrama da Figura 18, pode ser realizado pelo professor. Nessa situação, o professor tem algumas funções diferenciadas do aluno. O professor pede a outros alunos para assistir a um experimento e também para participar. O professor tem a função de moderador do experimento, podendo tomar conta da situação a qualquer momento. O professor também pode acessar experimentos em andamento com a finalidade de acompanhar o aluno, mesmo sem ser chamado. Esse caso de uso foi apresentado na Figura 16.

3.6 Modelo de Classes

Os diagramas de classes descrevem a estrutura do sistema. Estes diagramas são compostos das classes com atributos e métodos, e por relacionamentos entre as classes. As classes representam algum elemento do mundo real.

A utilização de classes para definição do sistema auxilia na implementação de uma interface de fácil uso para os usuários, pois os objetos que serão manipulados por estes terão relação direta com a programação.

As principais classes do sistema são: *objeto*, *experimento* e *biblioteca*.

As classes encontram-se distribuídas no sistema em forma de pacotes e são agrupadas segundo suas funções dentro da plataforma. O diagrama de pacotes (Figura 19) apresenta os principais pacotes do VREL, que são:

- Usuário: agrupa as classes referentes aos usuários do VREL;
- Experimento: agrupa as principais classes necessárias para a criação de um experimento: *experimento*, *avaliação*, *conteúdo de suporte*, *ambiente* e *relacionamentos*. A classe *objeto* é uma agregação do experimento e, como tem atividades específicas, possui seu próprio empacotamento;
- Objeto: agrupa as classes *objeto* e *lista de objetos*. A especialização dessas classes também é contida neste pacote;
- Servidor: este pacote possui todas as classes referentes aos processos que serão ativos no servidor do sistema. Estão contidos neste pacote as classes de sessões (*experimento*, *laboratório*, *usuário*) e os programas para gerenciar conexões de voz, entre outros;
- Biblioteca: as classes das bibliotecas do sistema bem como as referentes à padronização da troca de conhecimento e organização estão contidas neste pacote; e
- Administração: todas as classes referentes à administração da plataforma estão neste pacote.

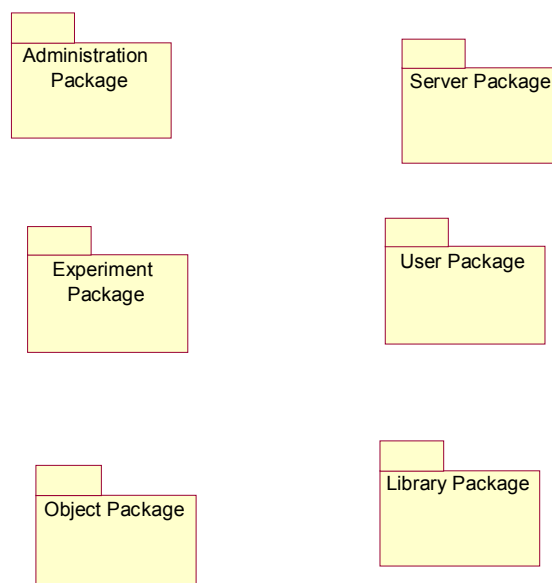


Figura 19 – Diagrama de Pacotes do VREL

Dentre as classes da plataforma, as duas principais são: objeto e experimento.

3.6.1 Objeto

A classe *objeto* é o princípio básico do sistema, pois todos os experimentos são compostos de objetos. A classe *objeto* é apresentada no diagrama da Figura 20. Essa classe é uma especialização da classe *objeto de realidade virtual*, proveniente da biblioteca de suporte à realidade virtual.

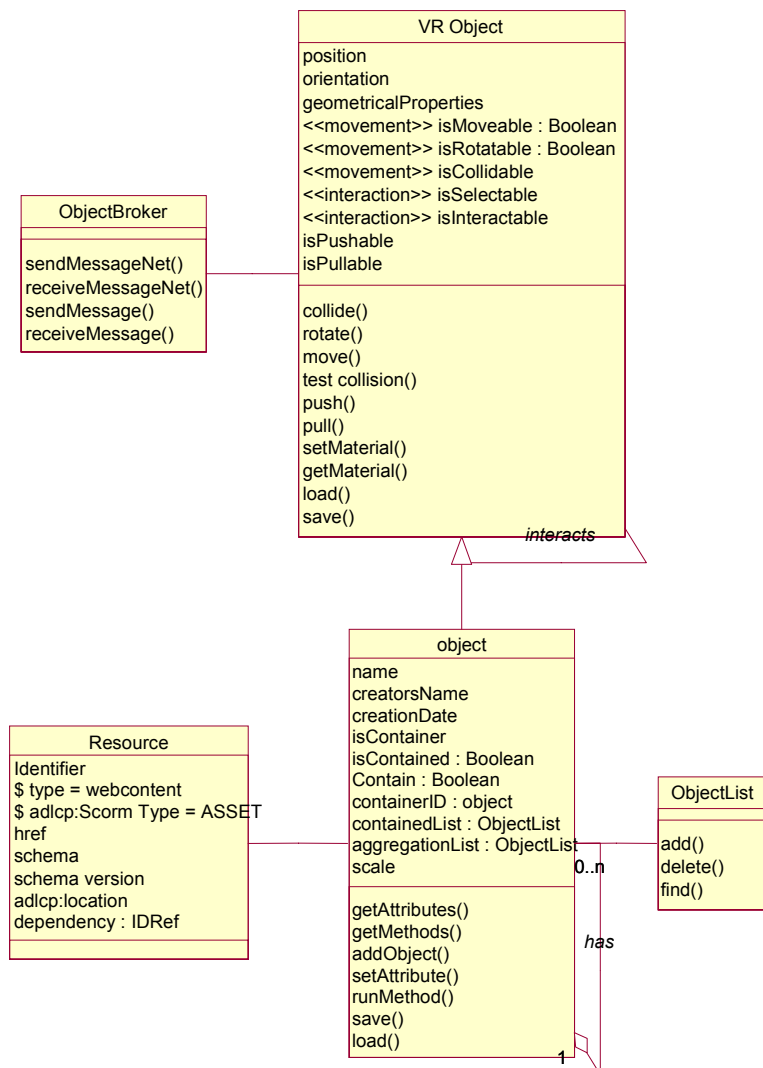


Figura 20 – Diagrama da classe *objeto* e suas dependências

A classe *objeto* serve como o topo da hierarquia dos objetos que serão utilizados nos experimentos. Todas as novas classes e objetos têm que herdar suas características básicas. Os atributos principais dessa classe se referem: 1) ao nome único do objeto dentro da plataforma; 2) às variáveis relativas à criação destes; e 3) aos dados essenciais para a padronização do conteúdo perante outros sistemas. As suas principais funções são de agregação de outros objetos e de interface entre o objeto e demais elementos do experimento.

A classe *objeto* realidade virtual possui todas as funcionalidades básicas que uma biblioteca de realidade virtual deve providenciar para a implementação dessa plataforma. As principais são em relação a: posição, propriedades de representação geométrica tridimensional, orientação, colisão, interação entre objetos do ambiente (tanto local quanto distribuído) e aparência. Essa classe também apresenta outras funções que não são necessárias ao escopo deste documento. A classe *objeto* realidade virtual pode ser observada no diagrama da Figura 21.

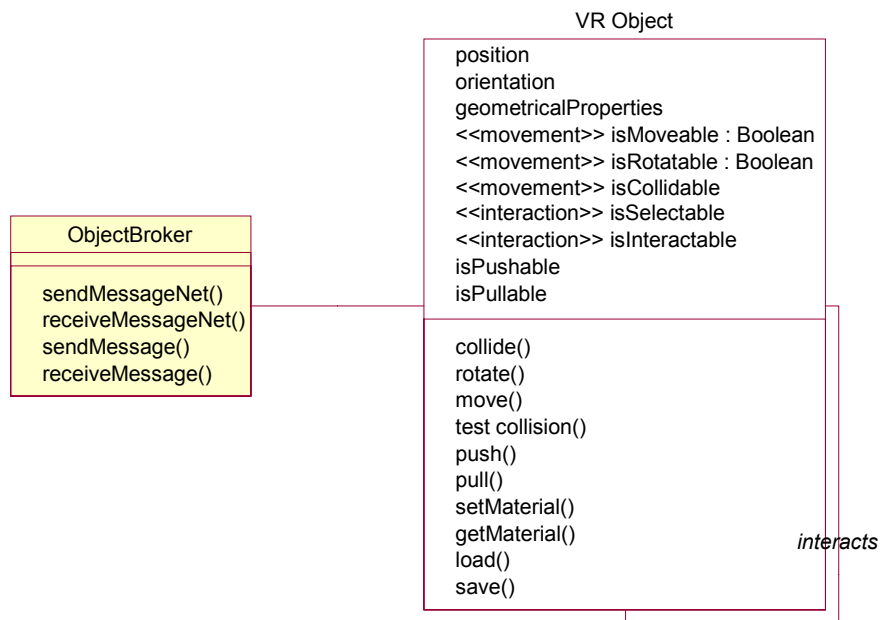


Figura 21 – Diagrama da classe *objeto de realidade virtual* e suas dependências

3.6.1.1 Diagrama de estados

A Figura 22 apresenta o diagrama de estados de um objeto do sistema. Como observado, o objeto pode encontrar-se em dois estados: inativo ou ativo. No estado inativo, o objeto ou é apagado da plataforma, ou está armazenado em uma das bibliotecas ou dentro dos laboratórios de experimentos. No estado ativo, o objeto está apto a realizar as funções que lhe são atribuídas. Foram descritos quatro estados iniciais para a classe *objeto*. Os estados são:

- interagindo: neste estado o objeto está interagindo com os demais elementos do sistema;
- parado: nenhuma atividade ocorre neste estado;
- inserindo: durante este estado o objeto pode incluir ou excluir outros objetos dentro dele; e
- inserido: este estado representa a inclusão do objeto em um outro objeto.

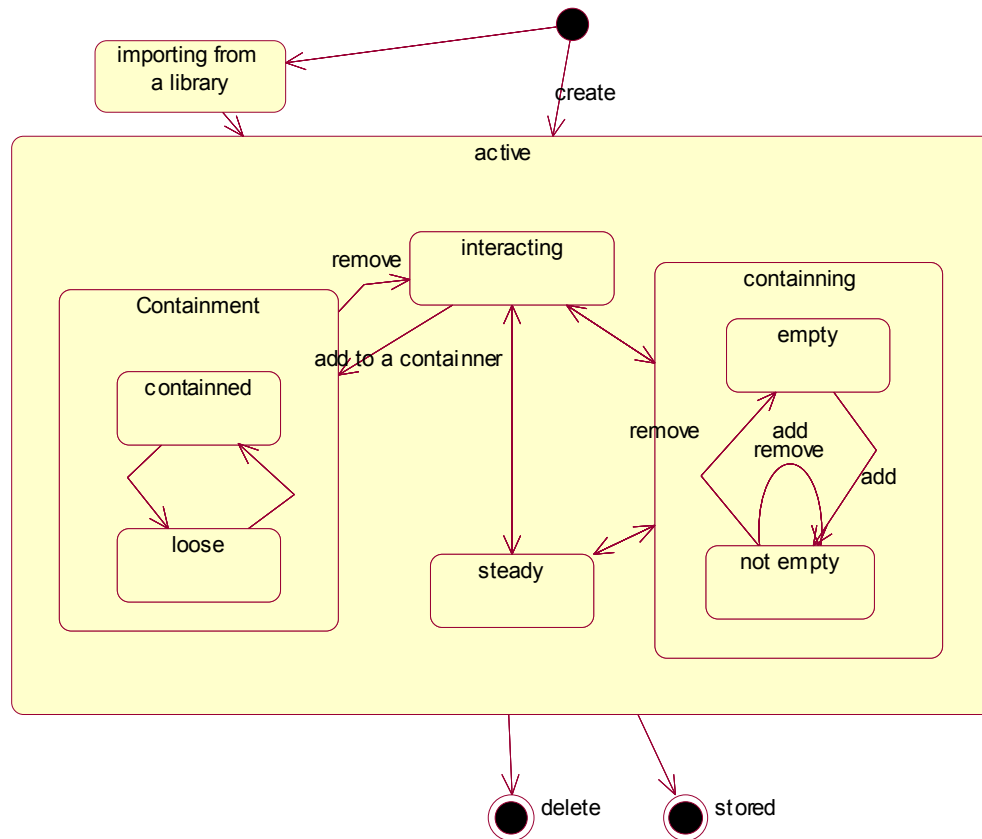


Figura 22 – Diagrama de estados do objeto básico

3.6.2 Experimento

A classe *experimento* pode ser observada na Figura 23 e é composta das seguintes classes:

- Ambiente: esta classe representa o local onde os experimentos serão criados. Os atributos desta classe são relativos, principalmente, a um ambiente real. Alguns de seus atributos são temperatura, índice de umidade, pressão e gravidade;
- Objeto: um experimento pode ter quantos objetos forem necessários. A classe *objeto* é mãe de todos os objetos dentro do sistema;

- **Relações:** esta classe é uma classe associativa, que cria as ligações entre os elementos do experimento. Os elementos que podem ser conectados são os objetos, ambiente e interface dos usuários. Essas relações é que permitem a interação entre os elementos dentro do experimento;
- **Avaliação:** esta classe pode ser especializada para o modelo de avaliação que for necessário para o professor, tal como relatórios, gráficos, testes com múltipla escolha, entre outros;
- **Conteúdo de apoio:** esta classe, que suporta diferentes formatos de mídia, permite a inserção de material de apoio para a execução do experimento; e
- **Interfaces:** estas classes tratam da interface dos usuários com o experimento.

O diagrama da Figura 24 apresenta as classes e seus relacionamentos presentes durante o ajuste de um experimento. A classe *professor* é a principal atuante nesse processo. Para apresentar o processo de ajuste de experimentos, foram criados diagramas de atividades, de estados e de colaboração.

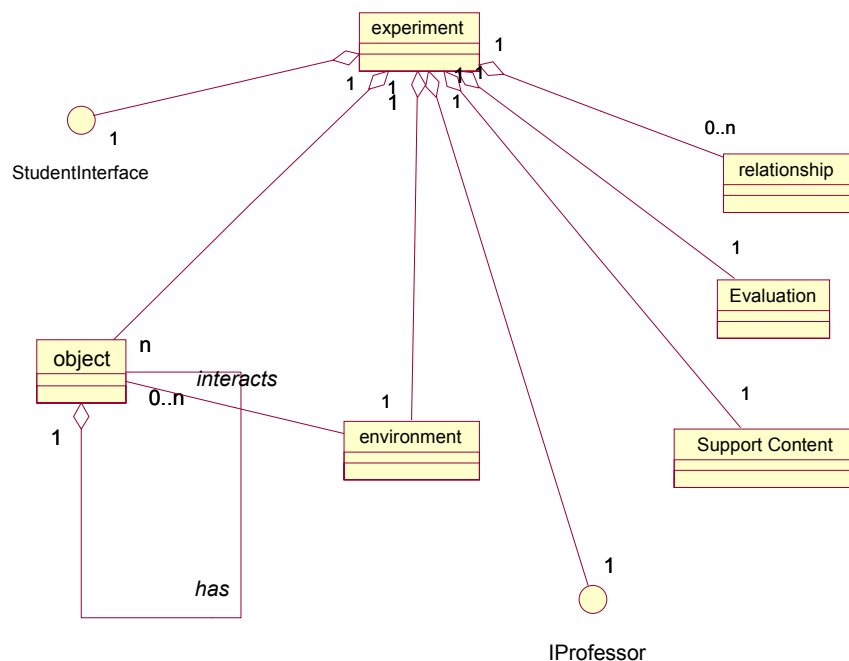


Figura 23 – Diagrama da classe *experimento* e classes associadas

3.6.2.1 *Diagrama de atividades*

Um diagrama de atividades serve para apresentar uma seqüência de atividades. Nesse caso, a atividade escolhida é uma das mais representativas do sistema, o ajuste de um experimento.

O diagrama da Figura 25 mostra detalhadamente todos os passos que o professor pode realizar para a criação de um experimento. Conforme o diagrama, o professor, assim que entra nessa opção do sistema, pode criar um experimento totalmente novo ou reutilizar um arquivado na biblioteca do sistema.

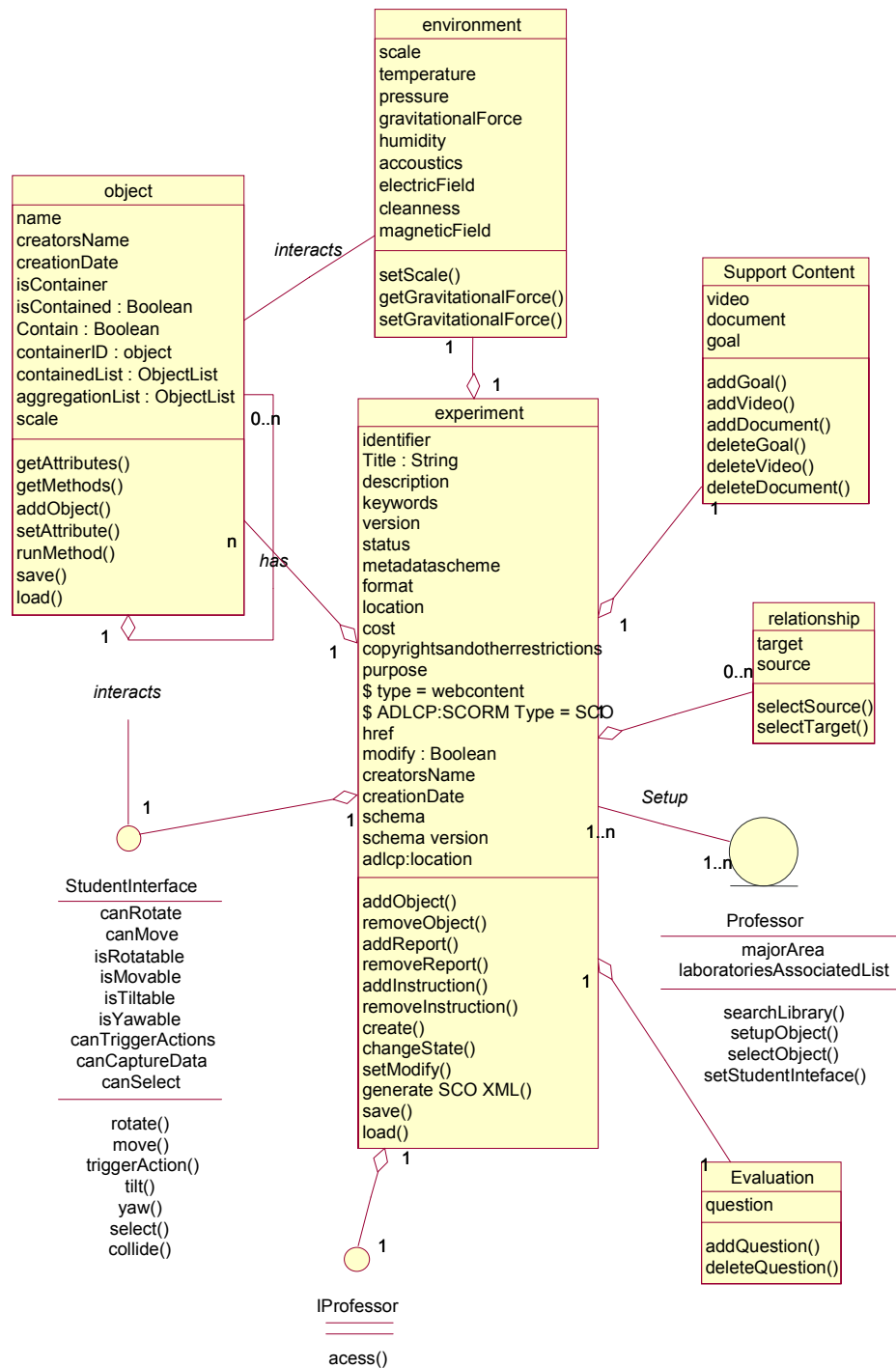


Figura 24 – Diagrama de classes para o ajuste de experimentos

A partir desse ponto, o professor tem diversas opções de modificações do experimento. As opções existentes são:

- inserir um objeto: a ativação desta opção leva o professor a uma bifurcação, na qual ele tem a opção de escolher entre duas maneiras de

selecionar os objetos para o seu experimento. Uma opção é utilizar *kits* de objetos pré-configurados para determinados contextos. Essa opção facilita a inserção e o ajuste dos objetos, uma vez que estes já teriam seus atributos e relacionamentos pré-ajustados, mas mantém sempre a flexibilidade de, a qualquer momento, poder realizar alterações. E a outra opção é utilizar os objetos sem nenhuma configuração;

- ajuste de propriedades e métodos dos objetos: após a escolha do objeto ou do conjunto destes, o professor pode realizar a personalização dos parâmetros dos objetos de acordo com as necessidades do experimento. Ele pode eliminar métodos e propriedades, e também alterar valores de propriedades;
- ajuste de propriedades do ambiente: o ambiente onde será realizado o experimento possui diversos parâmetros que podem ser ajustados. Esses parâmetros podem ser observados no diagrama de classes da Figura 24. Atualmente, os seguintes parâmetros estão disponíveis: escala, temperatura, pressão, campo magnético, campo elétrico, umidade, força gravitacional, acústica e coeficiente de limpeza. Com alguns objetos auxiliares e utilizando-se a escala, vários ambientes para experimentos podem ser criados, desde laboratórios tradicionais até experimentos em ecossistemas, no espaço ou em níveis atômicos e moleculares. Depende somente dos objetos disponíveis nas bibliotecas da plataforma;
- preparar as interfaces dos usuários que irão utilizar o experimento, professores e alunos. Nesta opção são inseridos os objetos que auxiliarão a execução do experimento, tais como controles remotos de equipamentos. São também ajustadas as formas de interação dos usuários. Algumas dessas opções são: movimentar-se pelo ambiente, rotacionar o experimento e até mesmo voar dentro do espaço experimental. Além desses elementos, são também criados os pontos de vista, com os quais o professor poderá facilitar a visibilidade de alguns eventos no experimento;
- realizar as conexões entre os elementos: estas conexões é que irão permitir a interação entre os objetos dentro do experimento. Como exemplo pode-se citar a ligação entre o objeto ambiente e um objeto

bloco, tendo como elemento de conexão a força gravitacional, a qual irá ser aplicada sobre o bloco na direção e sentidos fornecidos pelo ambiente;

- inserir conteúdo de suporte: esta opção permite que o professor coloque diversas informações sobre o experimento. Para isso, ele pode utilizar as mais diversas mídias para a WWW, como vídeos, sons, textos, imagens e desenhos;
- inserir avaliação: esta opção permite inserir diversos tipos de modelos de avaliação. Os métodos tradicionais, tais como relatórios, testes de múltipla escolha e criação de gráficos, são imediatamente disponíveis, restando para futuras implementações o desenvolvimento de novos métodos e o aprimoramento dos métodos tradicionais; e
- arquivar: antes de arquivar um experimento ou na biblioteca de experimentos ou no seu próprio espaço de desenvolvimento, o professor terá a oportunidade de testá-lo. O arquivamento na biblioteca só será realizado pelo administrador da plataforma, que irá cadastrar o experimento conforme as classificações adotadas na biblioteca.

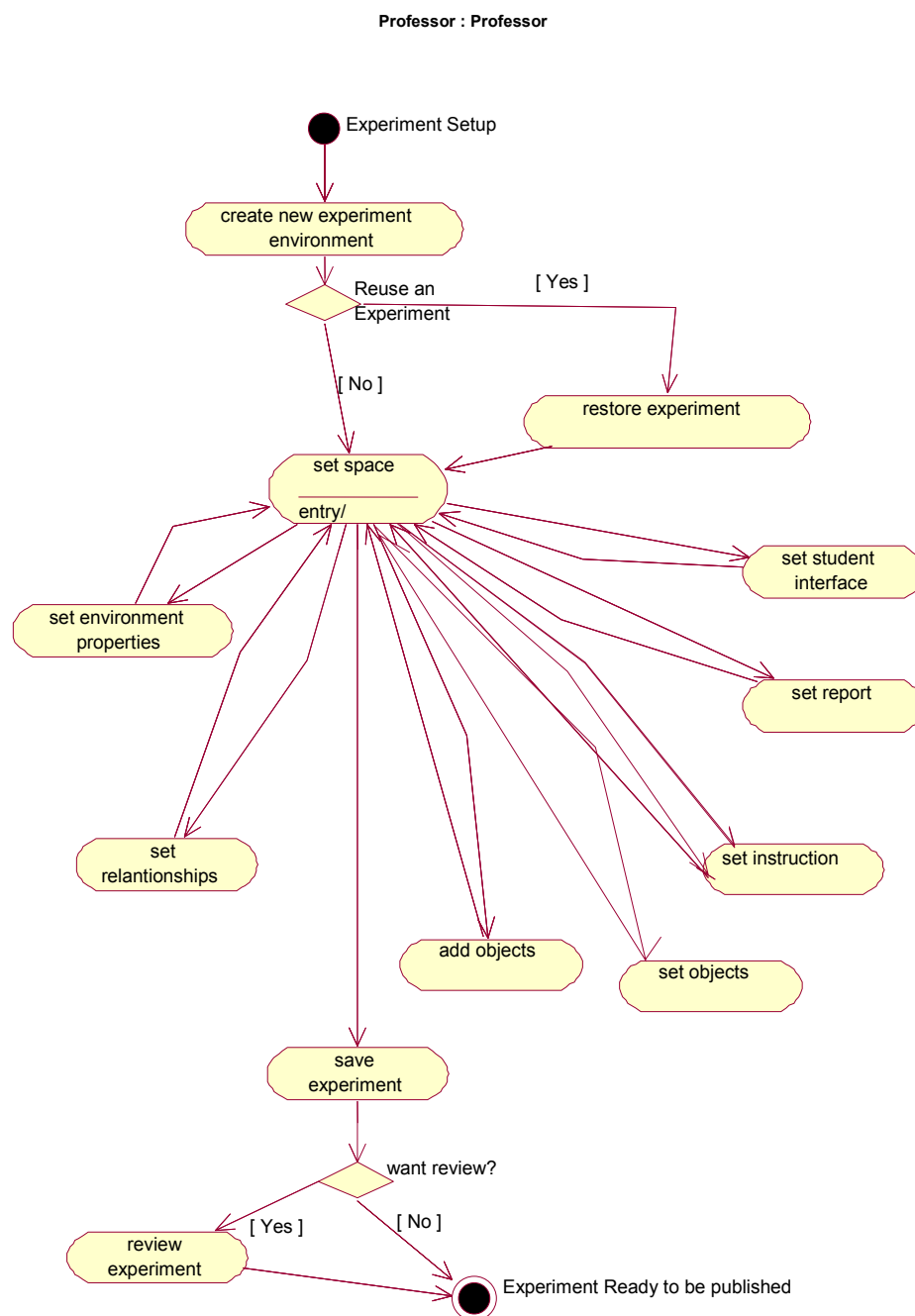


Figura 25 – Diagrama de atividades de ajuste de experimento

3.6.2.2 Diagrama de estados

A Figura 26 apresenta o diagrama de estados da classe *experimento* durante o processo de configuração desta. Há cinco estados: criando, editando, recuperando, revisando e armazenando o experimento. Durante o estado de

edição, ocorre o maior número de eventos. Neste estado, o experimento sofre o ajuste das variáveis do ambiente, o ajuste das interfaces dos usuários, a adição do conteúdo de suporte e de objetos, e a avaliação.

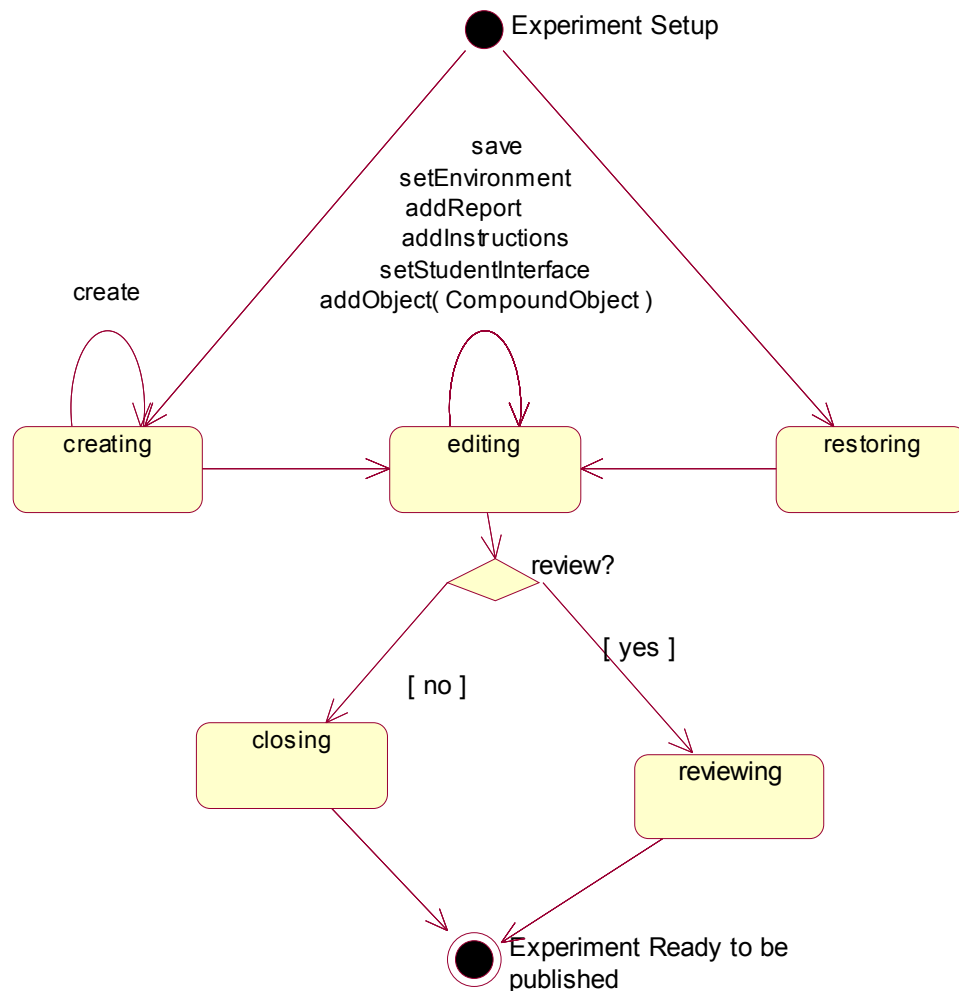


Figura 26 – Diagrama de estados da classe *experimento* na fase de ajuste

3.6.2.3 Diagrama de colaboração

Um diagrama de colaboração tem a função de apresentar a troca de mensagens entre as classes. No diagrama apresentado na Figura 27 estão as principais classes e trocas de mensagens entre classes para a realização do experimento. O ator/classe *professor* é o elemento desencadeador dos eventos. Para a criação desse diagrama foi escolhida uma das possíveis seqüências de ajuste de um experimento. Os índices ao lado das funções indicam-na.

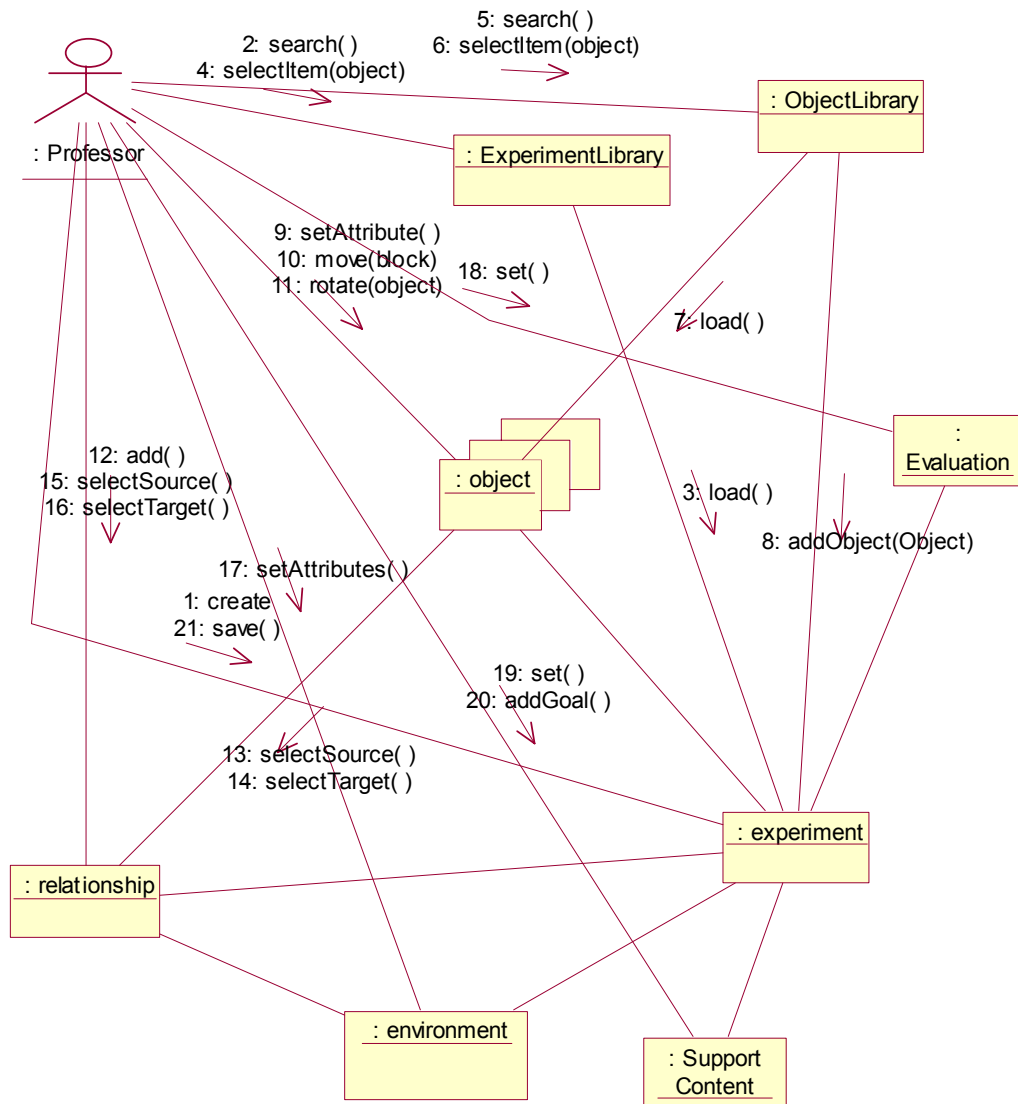


Figura 27 – Diagrama de colaboração para a criação de um experimento

3.7 Componentes

Os diagramas de componentes apresentam as unidades de software de um sistema. Esse tipo de diagrama faz parte da notação para a implantação de um sistema.

O VREL foi concebido para utilizar a estrutura da WWW já existente no mercado. O diagrama da Figura 28 apresenta os dois módulos principais necessários para a criação e utilização do sistema, uma biblioteca de realidade virtual e um sistema operacional com suporte a WWW e Java.

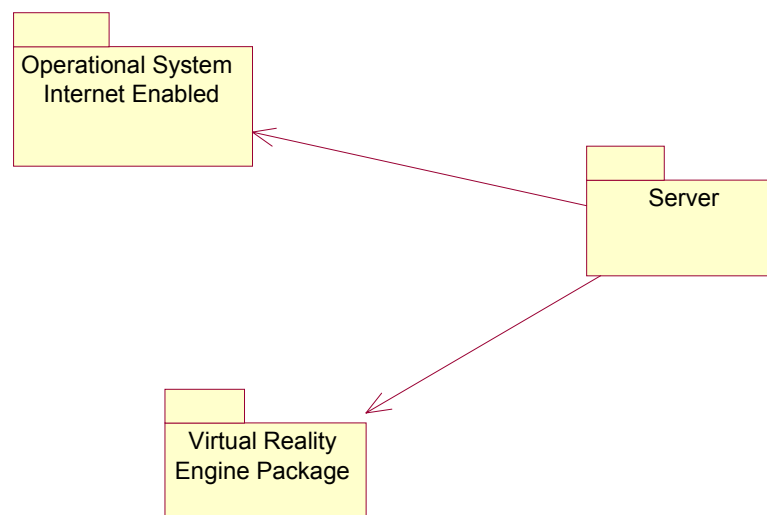


Figura 28 – Diagrama de conexão com outros pacotes

Na Figura 29 é apresentado o diagrama referente ao servidor que centraliza o sistema e redistribui os módulos conforme o tipo de usuário (professor, aluno ou administrador). Esses usuários acessam o servidor utilizando um navegador WWW compatível com Java.

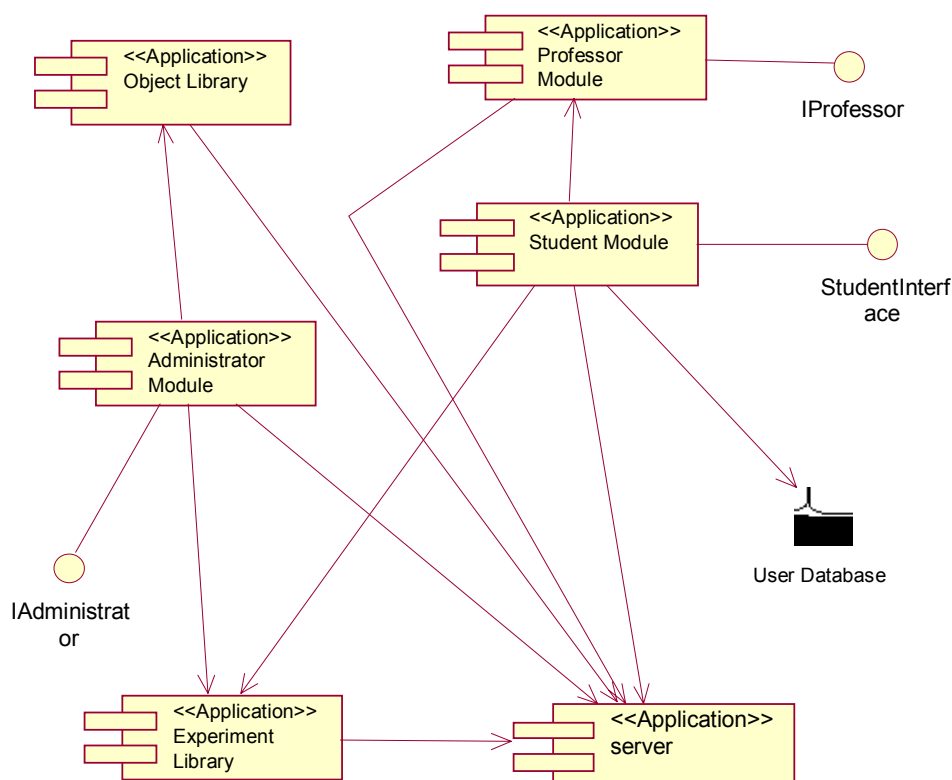


Figura 29 – Diagrama dos componentes do servidor

3.7.1 Módulos do sistema

A conexão entre os módulos e usuários do sistema será realizada pela Internet, através de uma interface de WWW.

Esse sistema é composto dos seguintes módulos, como apresentado na Figura 30: Servidor, Cliente – Aluno, Cliente – Professor e Cliente – Administrador.

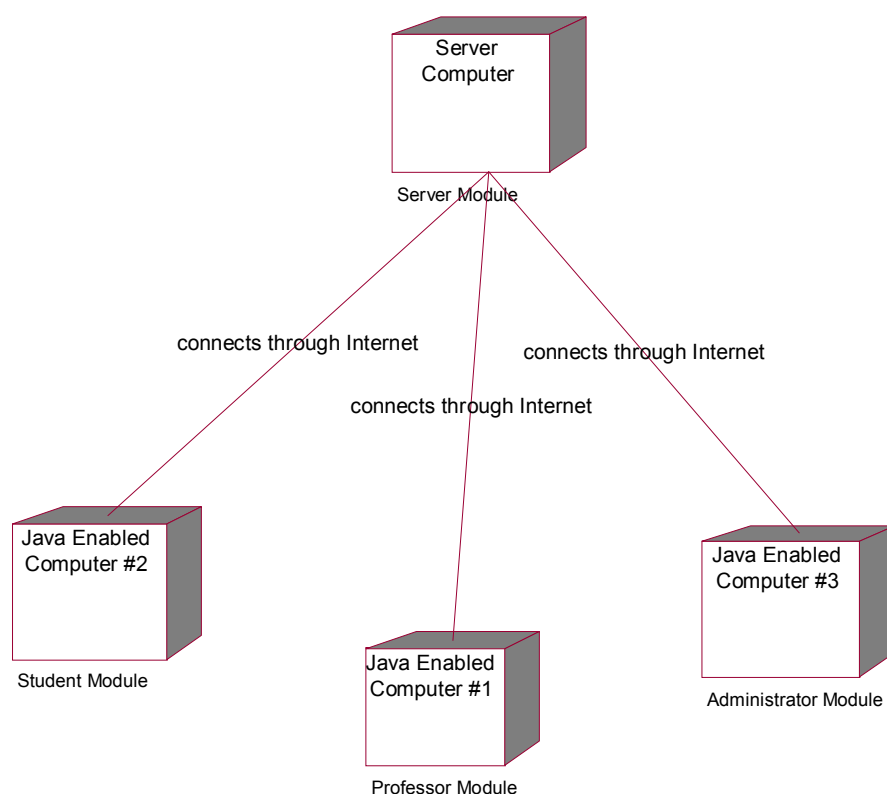


Figura 30 – Módulos do sistema

Módulo Servidor

O projeto prevê a utilização do módulo *servidor* integrado a um servidor de páginas da WWW, pelo qual os usuários realizarão o *login*. O servidor WWW, então, redirecionará o usuário conforme sua categoria de acesso, apontando para o módulo equivalente.

As bibliotecas privadas desta plataforma referentes à instituição serão armazenadas nesse servidor. As informações sobre os usuários também poderão

ser recuperadas de um sistema de ensino existente, caso necessário. A plataforma prevê um sistema básico de cadastros de usuários.

Esse módulo é responsável por gerar espaços temporários no servidor para os usuários. As sessões serão criadas conforme os dados relativos aos usuários provenientes de sessões anteriormente arquivadas.

O módulo *servidor* fornecerá basicamente as seguintes funções:

- prover suporte para que os experimentos sejam realizados em ambiente multiusuário e colaborativamente em tempo real, através de salas de aula;
- disponibilizar objetos em uma biblioteca específica (biblioteca de objetos e biblioteca de *kits* de objetos);
- disponibilizar experimentos em uma biblioteca específica (biblioteca de experimentos); e
- armazenar uma base de dados com cadastros de professores, alunos e disciplinas.

Os módulos clientes são em número de três: *aluno*, *professor* e *administrador*.

Os módulos *aluno* e *professor* são os módulos que utilizam interface em realidade virtual. O módulo *administrador*, que utiliza interface bidimensional, não foi projetado, inicialmente, para o uso desse tipo de interface, pois não traz um ganho efetivo para a utilização da realidade virtual e, por isso, não será abordado na parte escrita desta pesquisa, como anteriormente mencionado.

Módulo Aluno

O módulo *aluno* tem sua interface totalmente interativa e tridimensional. Alguns dos conteúdos dos experimentos serão representados bidimensionalmente. Logo após o *login* do aluno no sistema, a plataforma gera uma sessão individual para ele. O ambiente em realidade virtual apresentado ao aluno representa um grande *hall*, no qual existem portas de laboratórios que representam as disciplinas em que este está matriculado. Além do aspecto instrucional, existem também aspectos administrativos que não serão abordados neste trabalho, mas que estão presentes nesse ambiente. O aluno pode escolher uma das portas, que o levará ao laboratório da disciplina correspondente. No laboratório, ele encontrará os

experimentos que o professor disponibilizou e os demais colegas que estiverem virtualmente presentes (conectados) naquele instante no sistema e matriculados na mesma disciplina. Caso algum outro colega já esteja realizando um experimento, essa atividade (sessão) aparecerá de uma forma diferenciada também nesse laboratório.

As representações dos experimentos no laboratório contêm os dados do aluno referentes ao experimento em questão, tais como: número de tentativas, sucessos, falhas, estado de evolução no experimento e atividades realizadas. O aluno pode acionar o experimento, e uma sessão será criada no servidor, dando suporte à realização do experimento. O aluno, então, poderá participar do experimento em três modos: realizando-o sozinho, em grupo ou como observador. O professor poderá ser chamado a qualquer momento para auxiliar no experimento, o que é possível apenas se ele também estiver conectado à plataforma.

Em relação aos colegas, o aluno pode conversar com os demais por meio de voz e texto. Nessas interações fora do experimento, poderão ser trocadas dicas sobre experimentos, e os alunos também poderão combinar a realização de experimentos em grupo. Cada aluno verá o ambiente segundo seus dados arquivados na plataforma.

Módulo *Professor*

O módulo *professor* possui interface interativa e tridimensional, com aspectos bidimensionais quando se trata de dados textuais. Logo após o *login*, através de uma interface tradicional textual, o professor é recebido com a interface que lhe possibilita realizar as atividades referentes aos experimentos virtuais. Utilizando o módulo, o professor pode realizar todas as atividades relativas ao sistema; desde a criação e edição de experimentos, realização de aulas interativas, até correção e acompanhamento dos experimentos com os alunos.

3.7.2 Rede

O sistema proposto é baseado em uma arquitetura de rede cliente–servidor. No servidor estarão concentrados basicamente os seguintes processos de rede:

- sincronizador de dados estáticos e dinâmicos para que a experiência de acesso do usuário seja a mais fiel possível;
- bases de dados;
- sessões de laboratórios e experimentos multiusuário;
- controle de acesso e permissões; e
- gerenciamento do acesso às bibliotecas.

O acesso via rede permite que esse sistema, quando em operação contínua, seja acessado a qualquer tempo e de qualquer localidade, preenchendo um dos requisitos estipulados.

3.8 Estrutura de dados – conhecimento implícito

A estruturação dos dados no sistema segue o paradigma da orientação a objetos. A hierarquização, principalmente dos objetos e experimentos, é feita com base no conhecimento humano.

3.8.1 Bibliotecas

O conhecimento nesta plataforma será armazenado pelos usuários em bibliotecas. Essas bibliotecas poderão utilizar diferentes taxonomias, para que cada plataforma seja compreensível pelos seus usuários locais. Os objetos de conhecimento também utilizam metadados para identificá-los, atribuídos pelos mesmos usuários locais. Mas, mesmo assim, a reutilização desse conhecimento ainda é inviável em um nível global, pois o conhecimento de uma comunidade pode diferir do de outra.

A solução para que o conhecimento seja reutilizado tanto nesta plataforma quanto em outras foi a adoção de um padrão internacional, o SCORM. Esse padrão permite que os sistemas troquem conteúdo educacional entre si. Nessa interação existe uma troca padronizada e estruturada de dados, mas não existe compreensão do conteúdo trocado por parte dos sistemas. Essa incompreensão é intrínseca à inexistência de um sistema inteligente para interpretar o conteúdo.

Para que esse conteúdo se torne realmente universal, é proposta a utilização de um sistema de conhecimento ainda em desenvolvimento, a UNL, que classifique os objetos de conhecimento da plataforma. Através da utilização de metadados e de estruturas organizacionais descritos em UNL, é possível que os sistemas compreendam o que estão trocando e possam utilizar o conhecimento de forma adequada.

Com a utilização do padrão SCORM e do conhecimento descrito em UNL, os experimentos e objetos poderão ser intercambiados entre os LMS automaticamente. Cada LMS terá que aderir aos padrões SCORM e UNL para que isso ocorra.

3.8.2 Interoperabilidade e reutilização do conhecimento

A reutilização de objetos e a interoperabilidade entre esse sistema e outros LMS foram alcançadas por meio da modelagem orientada a objetos da plataforma e da adoção de um modelo computacional para difusão de conteúdo educacional, o SCORM. O modelo SCORM permite a troca de dados entre diferentes LMS (DODDS, 2001a).

3.8.2.1 *Utilização do SCORM na plataforma*

O SCORM define um modelo chamado de Modelo de Agregação de Conteúdo, que inclui os seguintes componentes (DODDS, 2001b):

- modelo de conteúdo (Content Model);
- metadados (Meta-Data): forma de descrição do conteúdo; e
- pacote de conteúdo (Content Packaging): método de preservação dos dados.

O pacote de conteúdo, nesse caso, é associado a um ou mais experimentos gerados pelo sistema. Cada pacote contém:

- um arquivo **imsmanifest.xml**: este arquivo basicamente cria o relacionamento do conteúdo do pacote. Nele são apontados todos os

recursos (Assets) do(s) experimento(s) contido(s) no pacote e também o(s) próprio(s) experimento(s) (Sharable Content Object – SCO), bem como pode ser acrescentada a organização do LMS, onde se encaixam os experimentos;

- um ou mais SCOs: cada arquivo SCO representa um experimento. Neste, os objetos necessários para a sua realização estão relacionados;
- um ou mais recursos: um recurso é um objeto necessário para a realização do experimento. Cada recurso tem associado um arquivo XML (Extensible Markup Language) descrevendo sua funcionalidade. Dessa forma, torna-se mais simples serem encontrados os objetos necessários para a criação de experimentos. Alguns exemplos de recursos são objetos da biblioteca de objetos, relatórios e lista de procedimentos.

Nessa plataforma foram implementadas classes e foram adicionados alguns atributos e métodos em classes já existentes para o pleno atendimento do modelo SCORM. Essas classes são apresentadas no diagrama da Figura 31. Os dados principais para o SCORM encontram-se nas classes:

- experimento: pertencente ao pacote experimento;
- objeto: pertencente ao pacote objeto;
- recurso, item e organização: classes do pacote biblioteca.

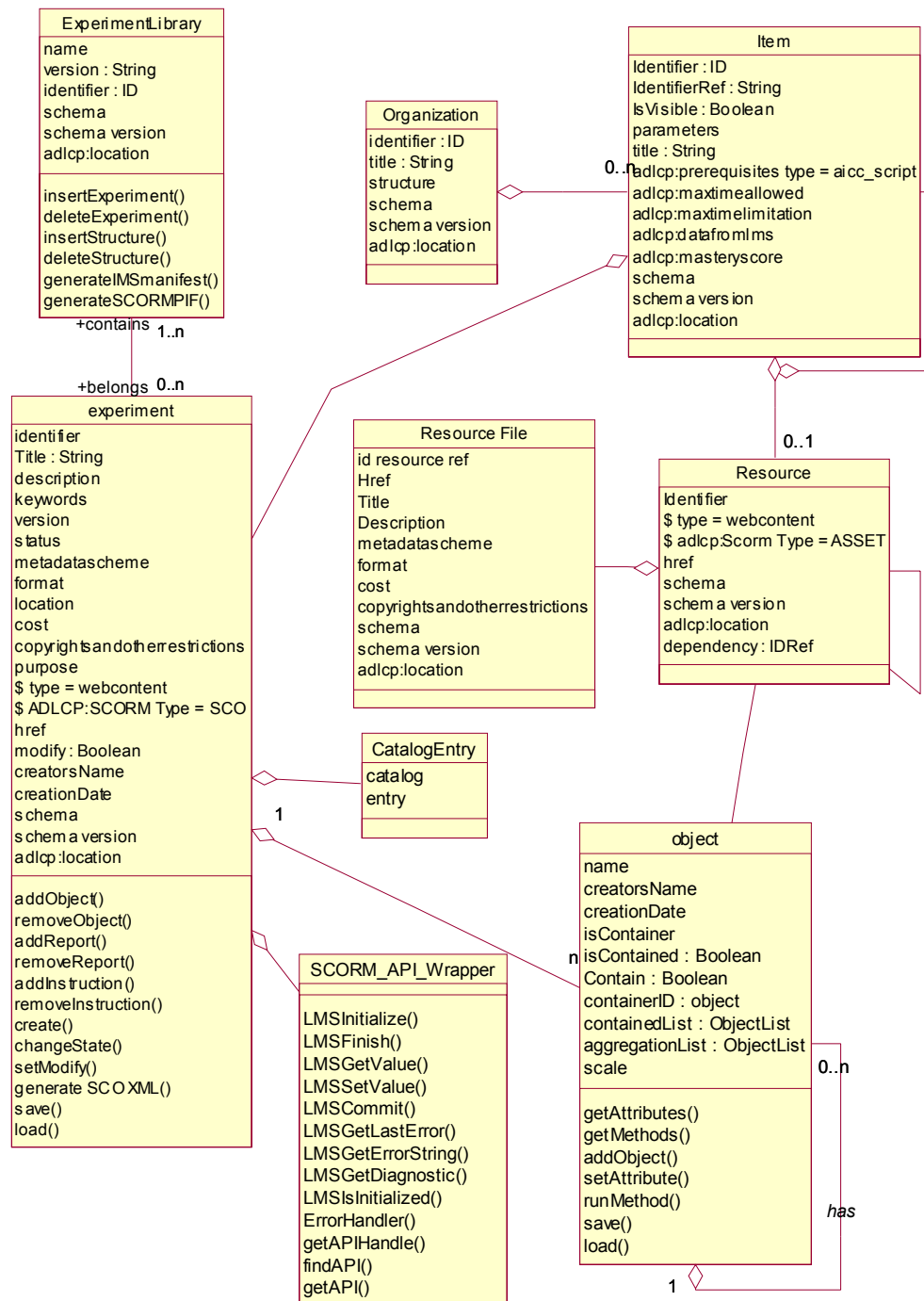


Figura 31 – Diagrama de classes referentes ao SCORM

Os métodos de geração dos arquivos para compatibilização com o padrão SCORM estão localizados nas classes *biblioteca* e *experimento*. Como os objetos incluídos na plataforma são padronizados pelo SCORM anteriormente à sua inclusão na plataforma, a classe *objeto* não possui um método de geração dos

arquivos de descrição. Entretanto, a classe *objeto* possui todos os metadados requeridos pelo modelo SCORM (DODDS, 2001b), e, caso seja necessário futuramente, basta implementar esse método na classe.

3.9 Distribuição

Os módulos estarão todos concentrados no servidor. A cada nova atualização desses módulos, os usuários, ao acessarem o servidor, receberão o novo módulo correspondente à sua categoria. Com um servidor, fica mais simplificada a conexão de usuários e a utilização do sistema a qualquer tempo.

A proposta de desenvolvimento final da plataforma é que ela seja implementada em Java, para que seja acessível pela WWW em diferentes plataformas de hardware, o que permite, principalmente, o uso sobre sistemas operacionais como Windows e Linux. Ao se optar por este último sistema operacional, de distribuição gratuita, tem-se a vantagem de redução no custo do equipamento básico para a utilização da plataforma, o que é um de seus objetivos. A utilização de um sistema operacional de distribuição e uso gratuitos representa atualmente uma redução em torno de 10% do valor do sistema.

Com os requisitos dessa plataforma, o requerimento mínimo de equipamentos para utilizá-la não terá um custo elevado. Para a execução dos módulos clientes, basta como configuração mínima um microcomputador para iniciantes. Claro que os módulos *aluno* e *professor* podem utilizar equipamentos mais sofisticados, melhorando o desempenho na execução dos experimentos. Equipamentos específicos para realidade virtual também podem ser acrescentados, mas não são obrigatórios, embora melhorem a usabilidade do sistema.

O outro requisito mínimo é que, para que a plataforma funcione plenamente, todas as suas partes (módulos) devem estar interconectadas, mesmo que por uma rede local de computadores (dentro da instituição).

Finalizando, a utilização dessas tecnologias permite que a representação de conhecimento (experimentos) gerada nessa plataforma possa ser reutilizada em outros sistemas de ensino.

4 APLICAÇÃO

4.1 Introdução

Esta parte do trabalho valida a proposta da plataforma através da implementação do protótipo do módulo *aluno* e da criação de objetos e experimentos. Desenvolvidos esses passos, demonstram-se as características mais importantes da proposta da plataforma de experimentos virtuais. Essas características são:

- utilização de um padrão de objetos e de experimentos virtuais;
- reutilização dos objetos virtuais em diferentes experimentos virtuais;
- experimentos virtuais com possibilidade de multiusuário; e
- distribuição dos experimentos e dos objetos virtuais de acordo com um padrão industrial de compartilhamento de conteúdo educacional, o SCORM.

Além de serem desenvolvidos para a plataforma proposta, os experimentos virtuais também possuem um empacotamento padrão para envio a outros sistemas de ensino que adotam o padrão SCORM.

A implementação do sistema proposto requer a utilização de uma linguagem de programação orientada a objetos e a utilização de uma biblioteca de realidade virtual básica. Hoje, existem diversas linguagens, como C++ e Java, que implementam o paradigma da orientação a objetos.

A não-utilização de Java3D para a implementação dos protótipos teve como principal motivo a instabilidade oferecida por essa tecnologia quando iniciada a implementação do protótipo. Além desse motivo, como Java3D é apenas uma biblioteca gráfica, exigiria a programação de um sistema de realidade virtual. Como

agravante, na época da determinação da biblioteca de realidade virtual, essa linguagem só oferecia implementações para as plataformas Windows e Solaris, o que impediria que o projeto fosse implementado para múltiplas plataformas.

Os experimentos foram, então, implementados utilizando-se a Virtual Reality Modeling Language (VRML) (CAREY; BELL, 1997). Trata-se de uma linguagem de especificação pública para realidade virtual destinada à Internet que se encontra hoje em sua segunda versão, padronizada segundo a International Standard Organization (ISO). Atualmente, ela não possui suporte para ambientes multiusuário.

Embora VRML não seja uma linguagem orientada a objetos, ela possui artifícios que a tornam semelhante à orientação a objetos. Por exemplo, a utilização do identificador PROTO da linguagem VRML permite a criação de objetos bem definidos e delimitados.

4.2 Descrição da Aplicação

Os primeiros experimentos foram centrados na física, pois são experimentos visualmente mais simples de serem compreendidos e validados. Além desse motivo, eles são suficientes para testar as propostas deste trabalho. Cada experimento seguiu o padrão especificado por sua classe e é composto de diversos objetos, também especificados na proposta.

Os objetos e experimentos da plataforma foram desenvolvidos em VRML e empacotados segundo o modelo do SCORM. Os experimentos foram classificados como SCOs, e os objetos, como recursos, de acordo com o modelo SCORM.

O módulo *aluno* foi desenvolvido em Object Pascal, sob a ferramenta Delphi. Além do Delphi, foi utilizada uma biblioteca de realidade virtual, o Cortona, sob forma de um *ActiveX*. No módulo *aluno*, os experimentos gerados atualmente funcionam tanto em modo monousuário quanto em modo multiusuário. Além disso, nessa implementação, os experimentos funcionam em modo monousuário em qualquer visualizador de VRML e também em sistemas de gerenciamento de ensino que obedeçam ao padrão SCORM.

O protótipo desse módulo é derivado do LRVChat3D (ROSA JR, 2001), desenvolvido pelo LRV/PPGEP/UFSC. O LRVChat3D é um sistema multiusuário que utiliza realidade virtual para que as pessoas se comuniquem por meio de texto. Na Figura 32 pode ser observada a interface atual do LRVChat3D. Nesse protótipo, os usuários podem entrar no sistema, conversar em modo texto e colaborar para a execução do experimento.



Figura 32 – LRVChat3D com dois usuários participando

Os periféricos de interação utilizados no protótipo foram de caráter não imersivo – mouse, teclado e monitor. A utilização de outros periféricos não foi necessária nesse momento, mesmo porque a ausência de APIs teria dificultado a utilização deles.

4.3 Experimentos

Desenvolveram-se dois experimentos utilizando-se o modelo proposto para a plataforma: 1) queda livre e 2) cálculo do coeficiente de atrito entre dois corpos

através do ângulo crítico. Neste trabalho, a realização dos experimentos é explicada em modo monousuário para facilitar seu entendimento. Entretanto, ambos os experimentos também foram testados e utilizados em modo multiusuário, que será apresentado posteriormente, no item 4.5.

4.3.1 Queda livre

O objetivo desta experiência é a observação da aceleração constante da queda de um corpo, independentemente de sua massa. Essa aceleração é, no limite, igual à aceleração da força gravitacional.

Para a realização deste experimento foram utilizados os seguintes elementos virtuais (Figura 33):

- bloco;
- mesa;
- chão; e
- painéis atuador e visualizador.

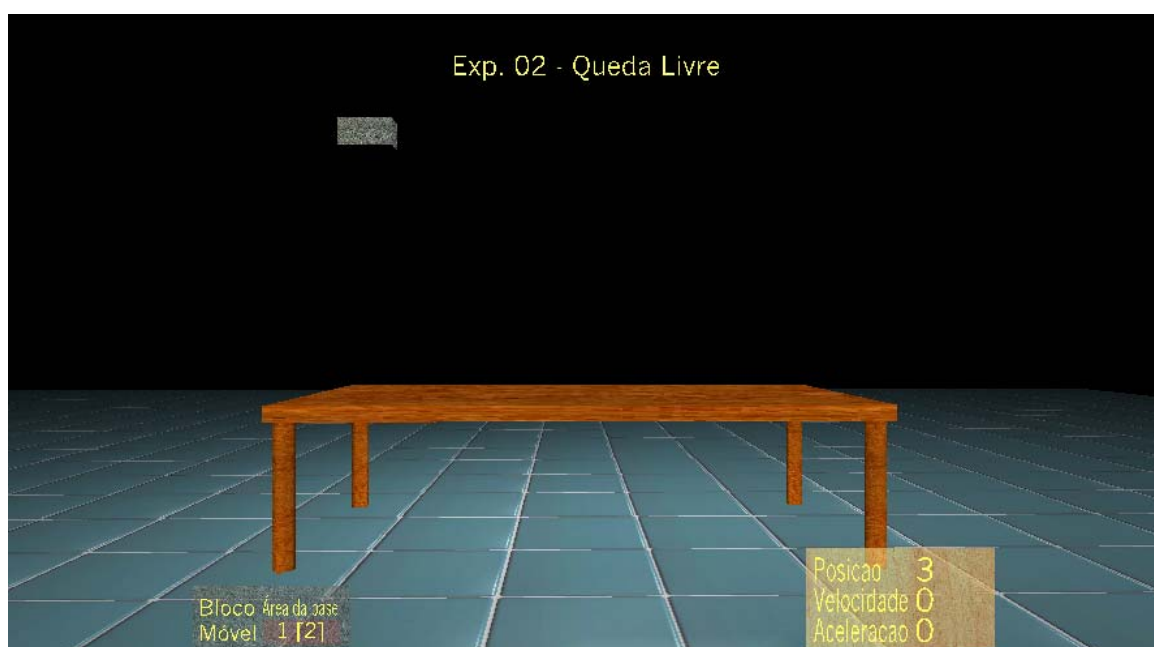


Figura 33 – Preparo do experimento de queda livre

4.3.1.1 Procedimento

O aluno seleciona o bloco e, se quiser, modifica seu material e sua massa. Então, pode movimentar o bloco e soltá-lo da altura que desejar. O valor da altura pode ser observado através do painel de auxílio, que faz parte da interface do ambiente. Ao soltar o bloco, o aluno observa sua queda e coleta dados registrados nos painéis. Enquanto o bloco cai, o aluno pode observar a velocidade aumentando e a aceleração, que atinge o seu limite, confirmando o princípio da queda livre.

Nesse ambiente, o aluno também tem toda a liberdade de exploração, podendo observar a experimentação de ângulos variados.

A Figura 34 apresenta o experimento em um de seus possíveis resultados.

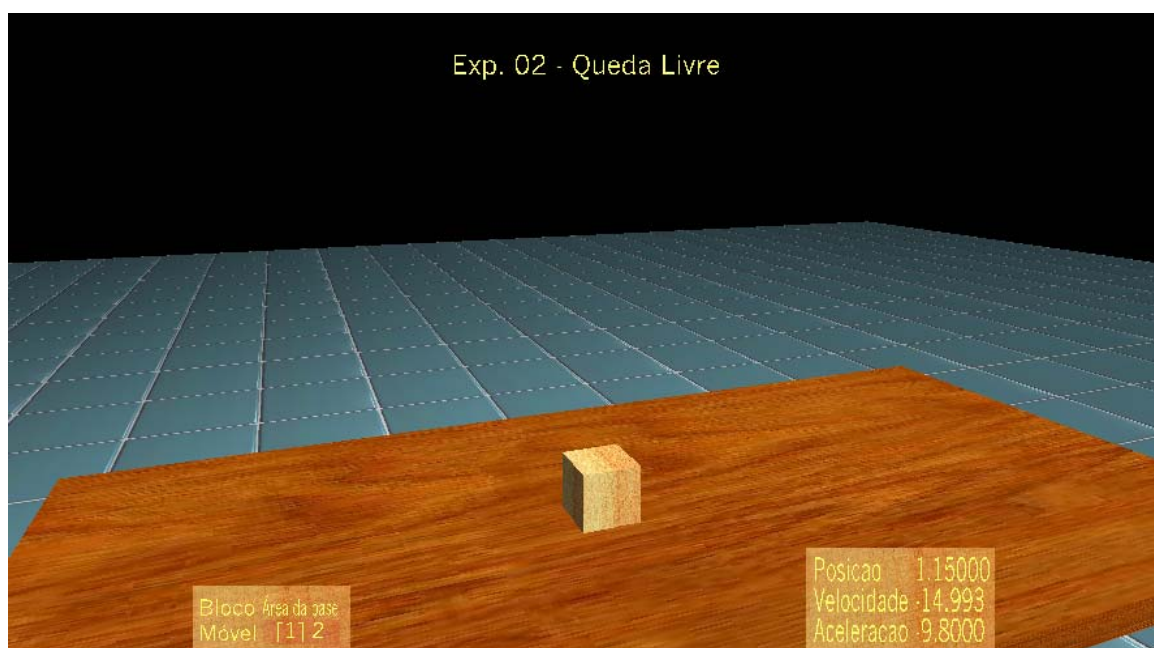


Figura 34 – Experimento de queda livre com um dos resultados

4.3.1.2 Análise

A aceleração do bloco logo atinge a aceleração gravitacional, mas sua velocidade continua aumentando, conforme a teoria. O aluno pode comparar resultados a partir da escolha de diferentes massas e materiais, e poderá observar que o resultado da aceleração é sempre o mesmo. Nesse caso, o experimento é apenas de observação.

4.3.2 Ângulo crítico

O objetivo da experiência do ângulo crítico é calcular o coeficiente de atrito entre dois materiais utilizando-se o método do ângulo crítico. Ângulo crítico é o ângulo máximo que um plano pode atingir antes que um corpo sobre esse plano tenha a resultante das forças diferente de zero; em outras palavras, é o ângulo-limite para que o corpo em cima desse plano não saia do repouso.

Para a realização desse experimento, foram utilizados os seguintes elementos (Figura 35):

- plano inclinável;
- bloco;
- mesa;
- chão;
- painéis atuador e visualizador;
- transferidor; e
- controle angular do plano.

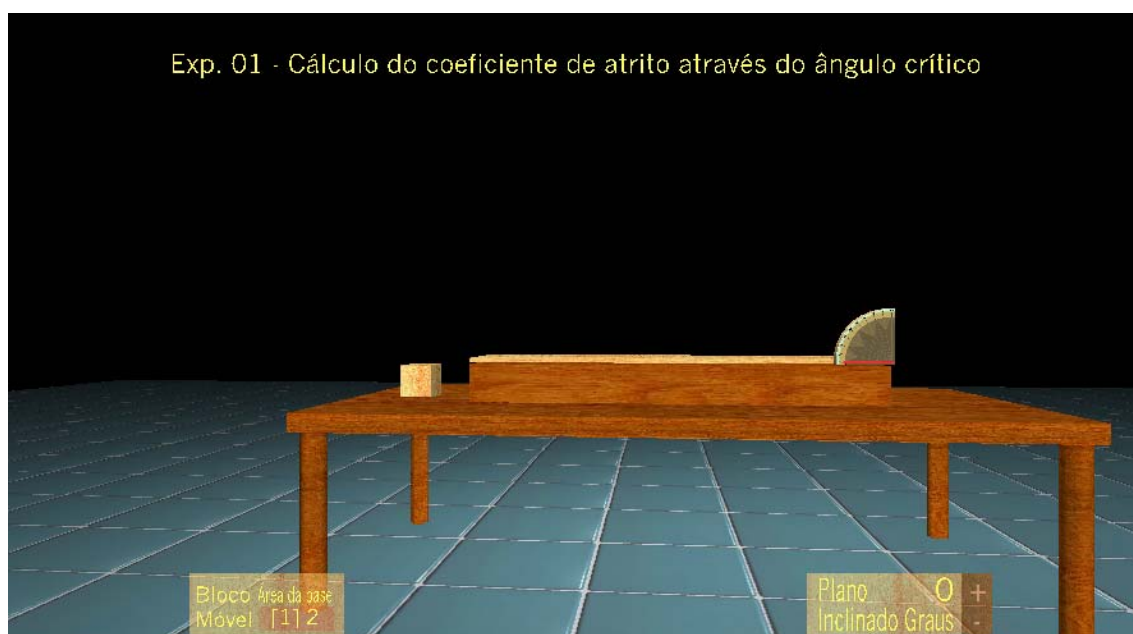


Figura 35 – Preparo do experimento de ângulo crítico

4.3.2.1 Procedimento

A Figura 35 representa o estado inicial do experimento. Os dois painéis empregados servem para mudanças de atributos do bloco e para inclinação do plano.

O aluno, a seu critério, modifica através do painel à sua esquerda a massa e o material do bloco, que inicialmente é de madeira. Então, ele seleciona o bloco e movimenta-o em direção ao plano, posicionando-o como desejado. O aluno deve variar o ângulo de inclinação do plano de maneira quantitativa através do controle do plano, à direita.

No momento em que o bloco começa a escorregar, o plano terá ultrapassado o ângulo crítico. O aluno deverá então ajustar a inclinação até encontrar tal ângulo. Caso o bloco caia do plano inclinável, o aluno deverá recolocá-lo numa posição em que ele possa retomar o experimento.

Encontrado o ângulo, o aluno deve calcular o coeficiente de atrito entre os materiais por meio da fórmula adequada.

Nesse caso, foram utilizados os coeficientes do quadro apresentado na Figura 36.

Bloco	Madeira		Concreto	
Plano inclinável de madeira	11,3°	0,2	26,5°	0,5

Figura 36 – Ângulos críticos e coeficientes de atritos do experimento

Durante todo o experimento, o aluno pode explorar o ambiente tridimensional através da interface padrão do visualizador VRML, observando o experimento dos mais diversos ângulos. Na Figura 37 observa-se o experimento em andamento.



Figura 37 – Experimento do ângulo crítico sendo realizado

4.3.2.2 Análise

O coeficiente de atrito é encontrado ajustando-se o ângulo do plano inclinável, e o resultado dependerá apenas de uma variável selecionada para o bloco, o tipo de material. Entretanto, também é permitida a variação de sua área de atrito, a qual não influi no resultado do experimento, o que o aluno só descobrirá através da experimentação. Trata-se de um experimento analítico em que o aluno pode avaliar os diferentes resultados correlacionados à modificação de variáveis.

4.4 Modelagem do Protótipo

De acordo com o projeto da plataforma, o qual define as classes *experimento*, *objeto*, *aluno*, entre outras, é apresentada a modelagem que permitiu a criação do protótipo.

Toda a implementação foi modelada utilizando-se diagramas, baseados em experimentos em que apenas um aluno atua, devido à inexistência na UML de representação para modelagem de sistemas multiusuário em tempo real, embora

uma proposta esteja em desenvolvimento (MOORE, 2001; SELIC et al., 2001, OBJECT MANAGEMENT GROUP, 2002).

4.4.1 Diagrama de classes

Cada experimento utilizou classes em comum. As classes de objetos são apresentadas no quadro da Figura 38.

Queda Livre	Ângulo Crítico
Bloco	Bloco
Mesa	Mesa
Chão	Chão
Painel atuador e visualizador	Painel atuador e visualizador
Painel visualizador	Plano inclinado

Figura 38 – Quadro com as classes participantes em cada experimento

As classes do experimento *queda livre* podem ser observadas no diagrama de classes da Figura 39. No diagrama de classes da Figura 40, é apresentada a classe complementar para a realização do experimento *ângulo crítico*, pois este acrescenta um objeto em relação ao anterior e utiliza a instância diferenciada das classes de painéis.

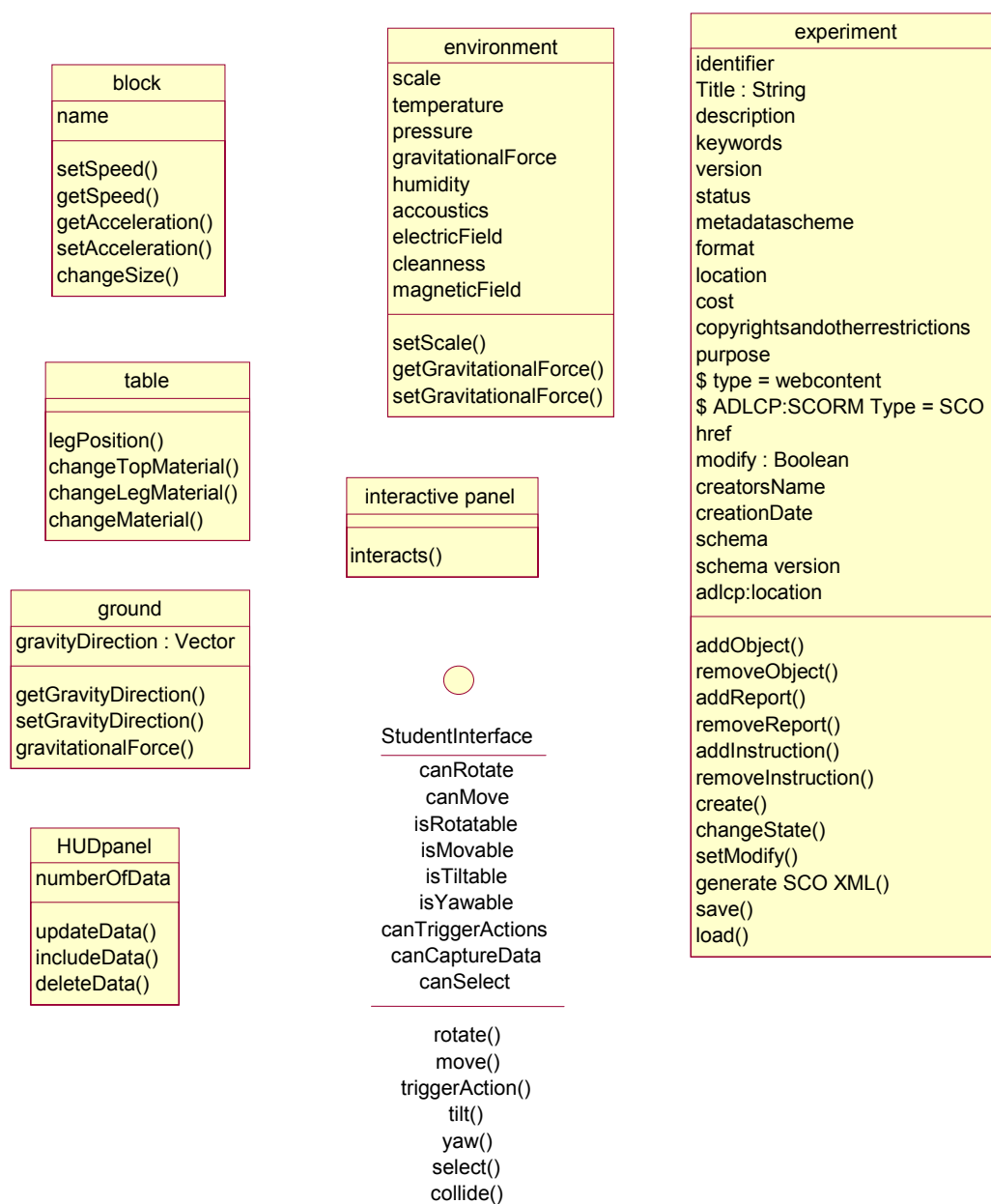


Figura 39 – Diagrama com as classes utilizadas no experimento de queda livre

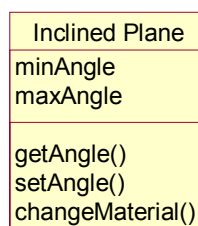


Figura 40 – Diagrama da classe complementar para uso no experimento de ângulo crítico

O diagrama na Figura 41 apresenta as classes que geram os objetos para compor um plano inclinado. A classe *plano inclinado* é a composição das classes *base*, *plano*, *cilindro* e *transferidor*, com métodos e atributos específicos.

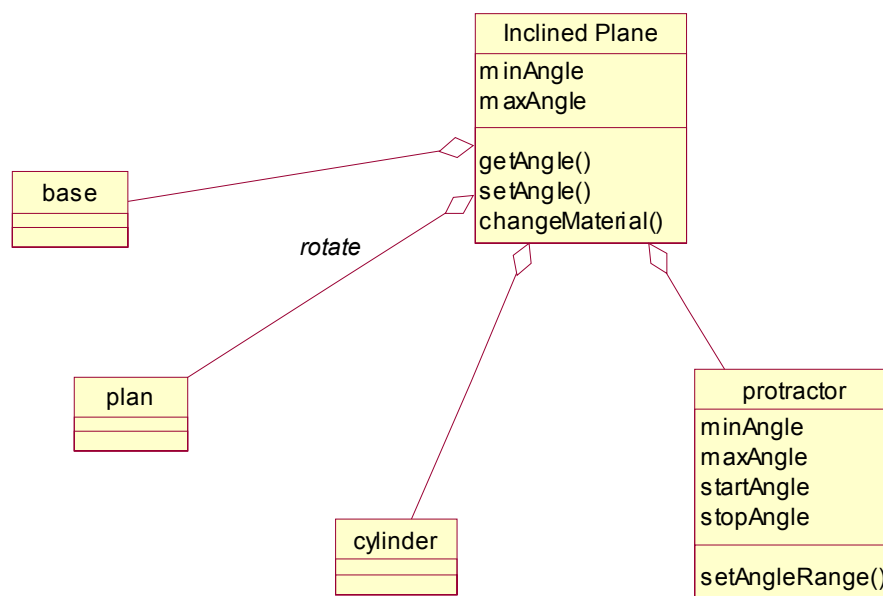


Figura 41 – Diagrama da classe *plano inclinado*

A classe *transferidor* também é uma composição de outras classes: *corpo*, *escala* e *apontador*. Pode-se observar que as classes são reutilizadas para compor outros objetos, seguindo o paradigma da orientação a objetos. A classe *transferidor* é apresentada no diagrama da Figura 42.

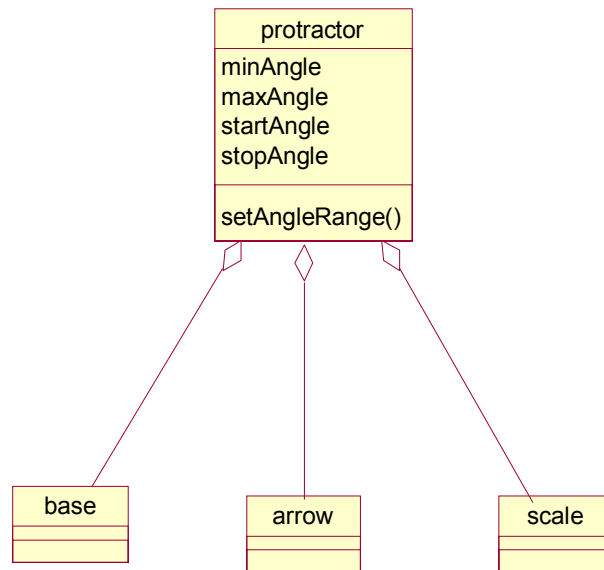


Figura 42 – Diagrama da classe *transferidor*

4.4.2 Diagramas de colaboração

Os diagramas de colaboração com os objetos dos experimentos apresentados representam a utilização do experimento em modo monousuário. Para os modos multiusuário e tempo real, os diagramas atuais do UML não permitem uma representação fiel, como mencionado anteriormente.

Nesses experimentos, a classe *interface do estudante* é o elemento que permite ações do usuário sobre objetos interativos do experimento. Tais ações podem provocar efeitos inesperados, o que não deixa de ser interessante como forma de aprendizado.

A sequência de eventos apresentada pelos diagramas de colaboração (Figura 43 e Figura 44) não é a única, pois diversos eventos ocorrem em paralelo e não sequencialmente, o que é apresentado nos diagramas. Um exemplo disso é em relação ao bloco, que pode estar ao mesmo tempo 1) em movimento, 2) testando sua colisão com outros objetos e 3) sendo atraído pela força da gravidade.

O diagrama da Figura 43 representa o experimento de queda livre. Nesse experimento, a classe *interface do estudante* é o elemento operante, que modifica o estado do experimento. O único objeto interativo que reage às ações diretas do aluno é o bloco, que, sob controle direto do aluno, tem sua posição alterada e, em

manipulação indireta, por meio de um painel interativo, tem seu material e volume modificados.

O diagrama da Figura 43 representa o experimento em que ocorrem os seguintes eventos de maneira dinâmica: o bloco suspenso no ar é atraído para o chão pela força gravitacional, o que chama a atenção do estudante; o aluno pode, além de se movimentar pelo ambiente, posicionar o bloco na altura desejada e, prosseguindo com o experimento, fazer suas observações; o aluno interage através da classe *interface do estudante*, como apresentado no diagrama; através do painel, ele pode modificar dois dos atributos do bloco, essenciais para provar que, independentemente da massa e do volume (através da alternância de materiais), os objetos caem com a mesma aceleração e suas velocidades são iguais; as demais classes realizam as interações com o bloco para que a simulação represente o experimento real.

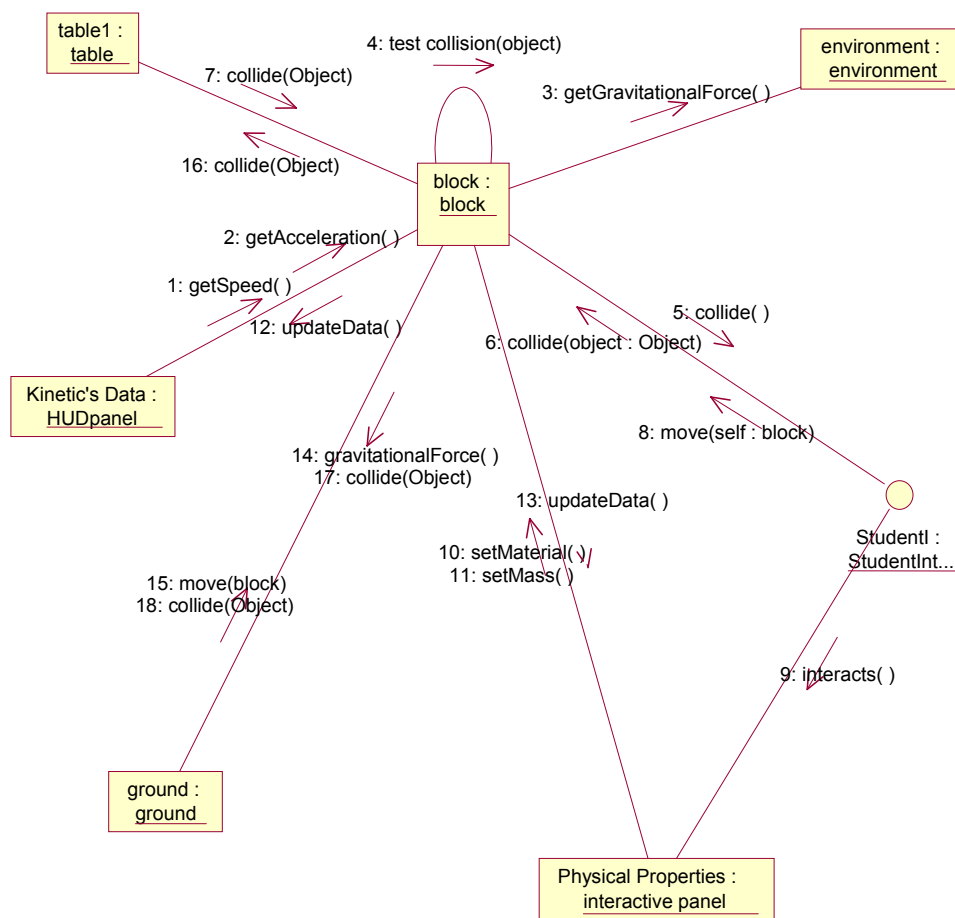


Figura 43 – Diagrama com objetos do experimento queda livre

O diagrama da Figura 44 representa o experimento do ângulo crítico. Nesse experimento, a classe *interface do estudante* também é o elemento atuante, que modifica o estado do experimento. Existem dois objetos interativos nesse experimento: 1) o mesmo bloco, com as mesmas interações do experimento anterior; e 2) um plano inclinável.

Além das ações possíveis no experimento de queda livre, nesse experimento o aluno também pode modificar a inclinação do plano, através do painel apropriado, com a finalidade de descobrir o ângulo que corresponde exatamente ao coeficiente de atrito entre os materiais dos corpos. O estado inicial desse experimento é semelhante ao de queda livre, excetuando a existência do plano inclinável, que se inicia com ângulo zero.

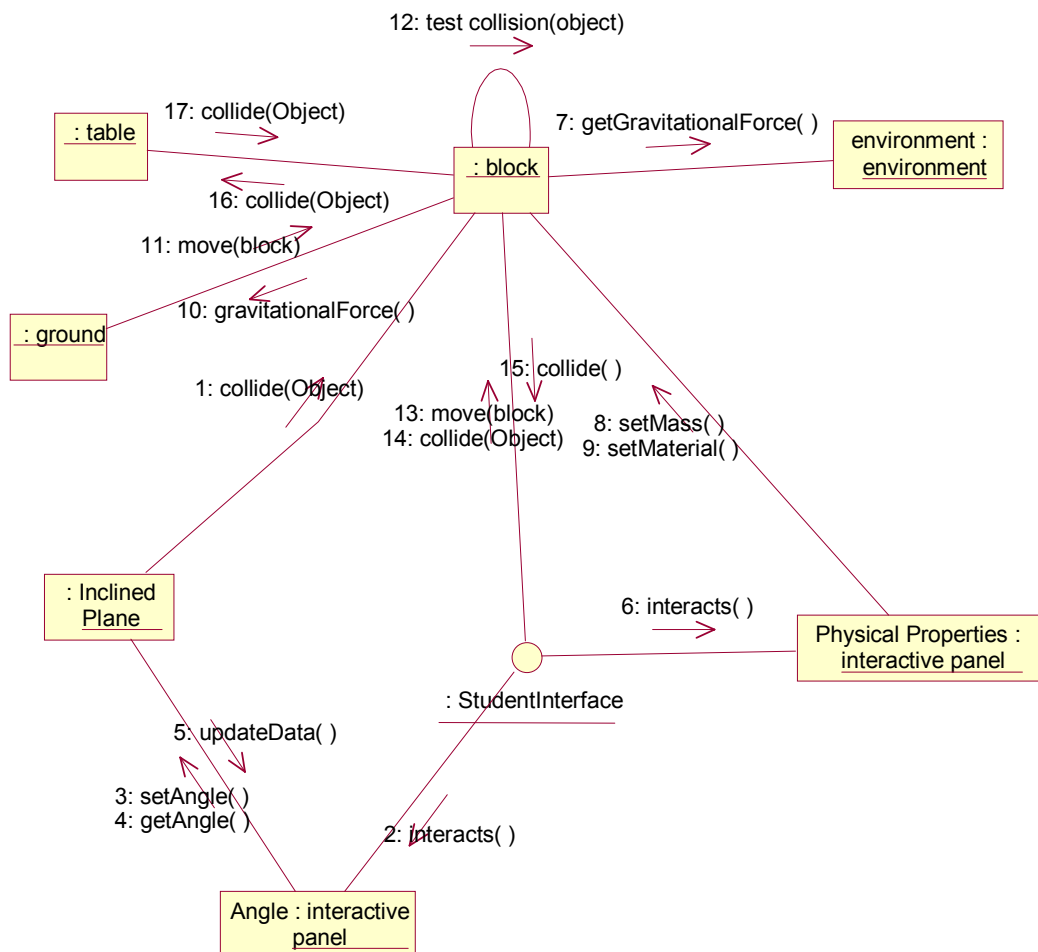


Figura 44 – Diagrama com objetos do experimento *ângulo crítico*

Para a adição de objetos nos dois experimentos realizados, como um segundo bloco, basta criar uma instância deste e suas ligações com os elementos com que ele vai interagir. Isso torna a criação e modificação de experimentos simplificada.

4.4.3 Objetos de conhecimento

Todos os objetos e os experimentos foram implementados de acordo com a proposta da plataforma em VRML. A utilização de VRML proporciona a adequação ao modelo SCORM, que, por sua vez, exige que os objetos de conhecimento sejam funcionais para sistemas baseados em WWW.

Os arquivos em VRML foram relacionados da seguinte forma: objetos dos experimentos foram considerados recursos; e experimentos foram considerados SCOs.

A classe *objeto*, que foi projetada com atributos suficientes para acomodar o modelo SCORM, possui um arquivo de metadados que a descreve. Esse arquivo é gerado a partir de informações contidas na estrutura de dados da plataforma. Conforme as atualizações do modelo SCORM, a plataforma poderá ser atualizada.

A classe *experimento* também possui os atributos correspondentes aos metadados necessários para a criação de seu arquivo de descrição.

O método de criação do arquivo de descrição aparece no projeto das classes, tanto na classe *objeto* quanto na classe *experimento*. Esse método adiciona ao arquivo os metadados encontrados nas classes. Atualmente, esse arquivo é gerado em XML.

Numa etapa seguinte, os arquivos experimentos, objetos e seus descritores são agrupados em um único pacote (PIF). É, então, gerado um arquivo descritor desse pacote, também padronizado pelo SCORM. Esse arquivo, também em XML, é uma descrição de todos os componentes do PIF.

No caso da plataforma, esses métodos de criação do arquivo e do pacote fazem parte da classe *biblioteca*. Esta classe possui os dados necessários para a geração do arquivo de descrição do pacote. Após a geração desse arquivo, que indica os SCOs e os recursos, é criado um outro pacote, conforme o modelo

SCORM. Esse novo pacote, em formato ZIP, engloba um ou vários experimentos e seus respectivos objetos.

4.5 Protótipo do módulo *aluno*

Em um sistema multiusuário como o do protótipo existe a comunicação de dados entre os clientes e o servidor.

O protótipo do módulo *aluno*, por estar vinculado ao módulo *servidor*, permite que vários alunos realizem colaborativamente os experimentos anteriormente apresentados.

A Figura 45 e a Figura 46 apresentam o protótipo sendo utilizado.



Figura 45 – Visão da aluna Dasha de dentro do ambiente do experimento

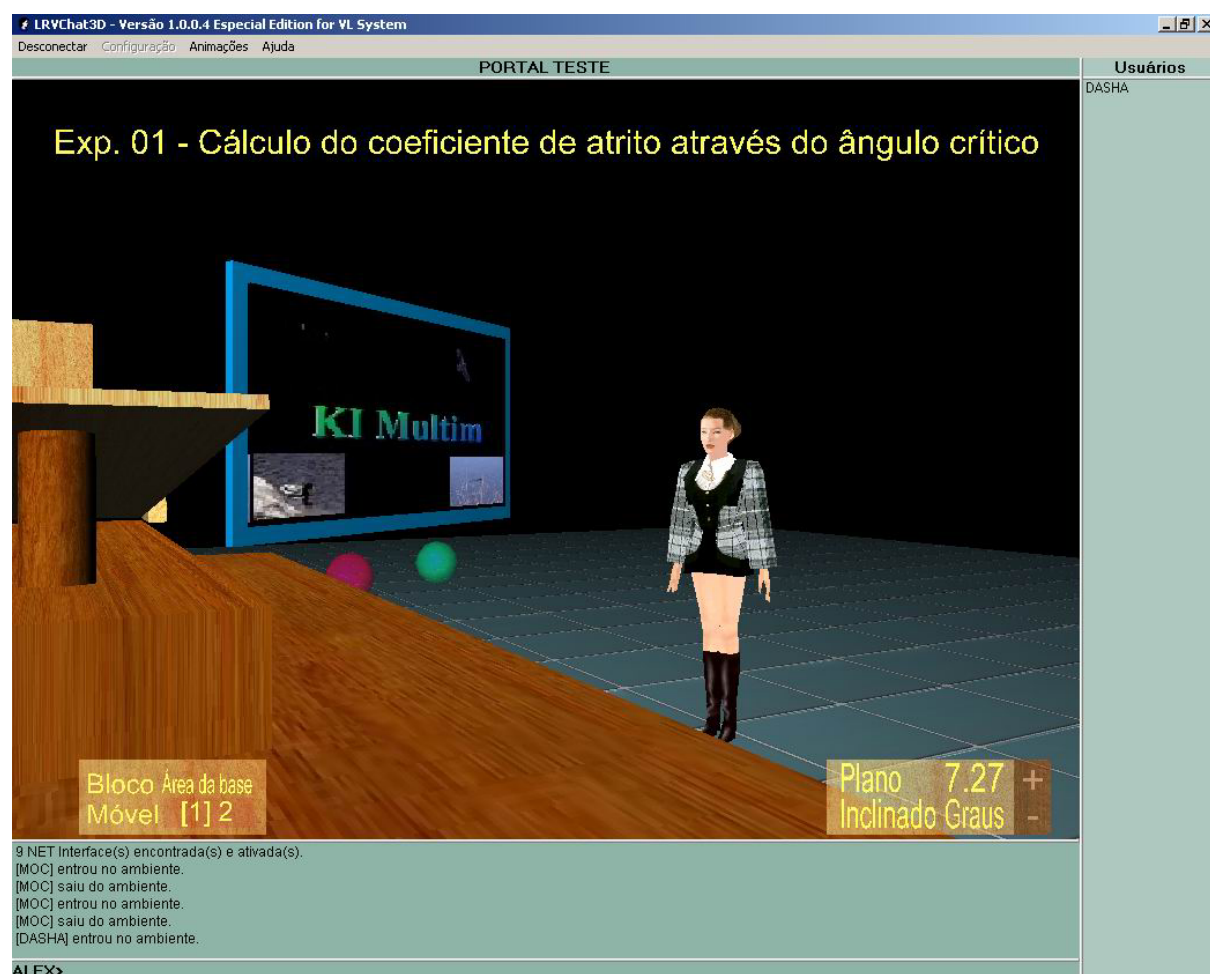


Figura 46 – Visão do aluno Alex de dentro do experimento de um dos alunos

O módulo *servidor* foi implementado nessa etapa de desenvolvimento apenas para suprir as necessidades de colaboração do protótipo do módulo *aluno*. Para isso, utilizou-se ObjectPascal (Delphi) para o sistema operacional Windows, aplicado igualmente ao módulo *aluno*. Para cada sessão de experimento, que permite a participação de diversos usuários, é executada uma instância do módulo *servidor*.

Nesse módulo compartilhado, os alunos podem interagir e realizar o experimento em grupo. Enquanto um aluno realiza uma atividade, outros podem observar ou realizar atividades paralelas. Além das atividades de manipulação do experimento, é possível a discussão em grupo através de texto ou voz.

Um dos objetos no experimento do ângulo crítico é um vídeo sincronizado que dá informações sobre o próprio experimento a todos os que participam da mesma sessão.

4.6 Considerações Finais

Os experimentos desenvolvidos foram testados em computadores de uso doméstico e portáteis. Os experimentos em modo monousuário podem ser executados em computadores de baixo custo. Para uma utilização mínima, basta ter um visualizador de VRML 97 e uma plataforma que suporte esse padrão.

Os experimentos em modo multiusuário utilizaram apenas plataforma PC com Windows, pois o software LRVChat3D só está disponível para esse sistema operacional.

Os pacotes gerados pela plataforma foram submetidos aos testes de conformidade do SCORM e foram aprovados. Isso mostra que qualquer experimento da plataforma, quando utiliza uma linguagem para WWW – nesse caso, o VRML –, pode ser utilizado em diversos sistemas de gerenciamento de ensino, o que prova a sua interoperabilidade.

O modelo SCORM não prevê a utilização de objetos de simulação, o que deverá ser suprido com a versão 2.0 (DODDS, 2001a). Não existe previsão da inclusão no modelo SCORM de suporte para modelos de ambientes colaborativos tridimensionais.

Atualmente, já é possível utilizar a tecnologia Java3D, pois esta se encontra em um estado superior de evolução desde a criação do protótipo, mas existem poucas bibliotecas de realidade virtual baseadas em Java3D disponíveis, entre elas SpaceCrafter 3DJava API, com suporte profissional, e You Build It Virtual Reality, desenvolvido apenas para um concurso de aplicações em Java3D e sem suporte técnico. Com o amadurecimento dessa tecnologia, deverão surgir novas bibliotecas, disseminando a Java3D.

Os objetos criados para demonstrar as características da plataforma proposta foram utilizados nos dois experimentos, o que demonstra a sua reutilização. Essa reutilização pode ser expandida para qualquer objeto ou experimento gerado com os padrões da plataforma.

5 CONCLUSÃO

A proposta de projeto de uma plataforma para geração e utilização de experimentos virtuais através da Internet apresentada nesta tese foi validada e mostrou-se viável para implementação.

Com a validação do projeto, afirma-se a importância de uma ferramenta de desenvolvimento de experimentos variados cuja realização independe de recursos tradicionais como locações física e temporal, além de recursos humanos e materiais. Isso só vem se tornando possível com o rápido avanço da tecnologia e da disponibilização de equipamentos no mercado.

Ao se propor uma plataforma para a Internet, deve-se considerar o crescimento e a conseqüente democratização da rede mundial de computadores, que já atinge, inclusive, as escolas públicas brasileiras (BRASIL, 1999).

Além da expectativa fundamentada de que, em pouco tempo, as escolas médias estarão interligadas à Internet, é inquestionável que a redução do custo dos computadores e a simplificação do seu uso com programas cada vez mais amigáveis farão do acesso à Internet um serviço comum, que servirá ainda mais para a disseminação do conhecimento.

A plataforma apresenta-se como uma dessas opções de difusão de práticas educacionais por oferecer laboratórios virtuais de ensino. Conforme exposto ao longo deste trabalho, ela atende a alguns dos requisitos almejados atualmente pela sociedade: baixo custo de uso, reaproveitamento de conhecimento, democratização da educação, entre outros.

Essa plataforma difere dos sistemas de realidade virtual existentes, pois ela permite a criação de vários experimentos de maneira facilitada, com uma ferramenta de fácil utilização. A diferença também está no reaproveitamento de objetos ou mesmo dos experimentos, o que até então não era possível com o desenvolvimento de sistemas de uso único e exclusivo.

Este trabalho apresenta uma solução para a criação de uma metodologia para experimentos distribuídos e colaborativos em realidade virtual. A aplicação do modelo provou que é possível desenvolver experimentos de laboratório utilizando-se realidade virtual. Além disso, esses experimentos podem ser reutilizados em diferentes sistemas de ensino on-line.

5.1 Futuros Trabalhos

Com o auxílio de uma equipe, a plataforma poderá ser implementada em sua totalidade e com suporte a diferentes equipamentos para realidade virtual. Esses equipamentos servirão para melhorar a interação dos usuários com a plataforma.

Para a utilização dos diversos tipos de equipamentos, são sugeridas a criação de uma interface dos equipamentos adaptável e a segmentação de ações padronizadas para cada tipo de interface de hardware.

A utilização da Universal Networking Language (UNL) na plataforma deverá ser relacionada com a estrutura do conhecimento implícito (UCHIDA; ZHU, 2001). O conhecimento está armazenado em atributos de classes como palavras-chave, nome e descrição. Esses atributos – e todos os outros relacionados com o SCORM – poderiam ser convertidos, com ferramentas apropriadas, para UNL cada vez que fossem criados.

A estrutura de organização das bibliotecas também poderia utilizar UNL e, através desse sistema, categorizar os elementos de acordo com a base de conhecimentos.

A interligação do sistema UNL com a plataforma poderá ser realizada pela Internet, uma vez que ambos se utilizam desta para funcionar. Além de utilizar a UNL para estruturação dos dados, ela também pode ser aplicada na interface da plataforma e no sistema de comunicação entre os usuários, através de texto e voz.

Além da classificação dos elementos da plataforma, objetos em realidade virtual, de uma forma geral, podem ter identificações únicas através do uso da base de conhecimentos da UNL. Com essa classificação, é possível desenvolver um aplicativo que, por meio de uma interface mediada por UNL e objetos descritos e

classificados por ela, gere novos objetos e ambientes virtuais. Essa criação pode ser feita utilizando-se linguagem natural através de descrições textuais interativas.

Uma última sugestão é a inserção da linguagem VRML no modelo SCORM, representando a utilização de realidade virtual em conteúdos educacionais e também a inclusão de conteúdos colaborativos no modelo SCORM.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, D.; HODGES, L. Virtual Reality for Education? In: VRST 2000, 7, 2000, Seoul, Korea. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. **Proceedings...** New York, NY, USA: ACM, 2000. p. 160- 165.

BARDOT, I.; BOUCHEREAU, L.; BOURGINE, P.; HEYD, B.; HOSSENLOPP, J.; MARTIN, N.; ROGEAUX, M.; TRYSTRAM, G. Cuisiner artificiel: un automate pour la formalisation sensorielle de produits alimentaires. Interface to Real and Virtual Worlds Conference. **Proceedings...**, 1992. p. 451-461.

BARFIELD, W; FURNESS III, T. (Ed.). **Virtual Environments and Advanced Interface Design**. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1995. 580 p.

BARFIELD, W; ZELTZER, D.; SHERIDAN, T.; SLATER, M. Presence and Performance within Virtual Environments. In: BARFIELD, W.; FURNESS III, T. (Ed.). **Virtual Environments and Advanced Interface Design**. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1995. p. 473-513.

BELLMAN, K. Playing in the Mud: Turning Virtual Reality into Real Education and Training. In: **Virtual Reality, Training's Future?** - Perspectives on Virtual Reality and Related Emerging Technologies, New York, NY, USA: Plenum Press, 1997. p. 9-18.

BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais. **Educação Brasileira: Políticas e Resultados**. Brasília: INEP, 1999. 44 p.

BRICKEN, W. **Learning in Virtual Reality** (Memorandum HITL-M-90-5). Seattle, WA: University of Washington, Human Interface Technology Laboratory, 1990.

BRITISH COUNCIL. **História do ensino a distância**. Disponível em: <http://www.britishcouncilpt.org/education/distance_p.htm>. Acesso em: 15 fev. 2002.

BRNA, P.; ASPIN, R. Collaboration in a Virtual World: Support for Conceptual Learning? **Education and Information Technologies**, Netherlands, 3, 3/4, p. 247-259, Dec. 1998.

BROOKS JR., F.; LOFTIN, B.; DEDE, C. Virtual Reality in Education: Promise and Reality. In: VIRTUAL REALITY ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 5, 1998, Atlanta, Georgia, USA. **Proceedings...** Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1998. p. 208-208. (Panel).

BURDEA G. **Force and Touch Feedback for Virtual Reality**. Ed. Wiley Professional Computing, 1996.

BURRELL, B.; WIGGINS, R.; SONWALKAR, N.; KUTNEY, M.; DALZELL, W.; COLTON, K. **A Comparison of Web Based and Laboratory Learning Environments**. Presented at American Society for Engineering Education Conference 2000, Saint Luis, MO, 18-21 June 2000.

BYRNE, C. Virtual Reality and Education. Proceedings of IFIP WG3.5 International Workshop Conference, 1993. p.181-189.

BYRNE, C. **Water on Tap: The Use of Virtual Reality as an Educational Tool**. 1996. Tese (Doutorado) - University of Washington, Human Interface Technology Lab, WA.

BYSTROM, K.; BARFIELD, W. Collaborative Task Performance for Learning Using a Virtual Environment. **Presence**, USA, 8, 4, p. 435-448, Aug. 1999.

CAREY, R.; BELL, G. **The annotated VRML 2.0 reference manual**. Reading, MA, US: Addison-Wesley Developers Press, 1997. 500 p.

CRONIN, P. **Report on the Applications of Virtual Reality Technology to Education**. Edinburgh: Human Communication Research Centre, University of Edinburgh, 1997. 18 p. Disponível em: <<http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/Work/Vranded/vr.htm/>>. Acesso em: 22 jan. 2002.

DEDE, C.; SALZMAN, M; LOFTIN, R; SPRAGUE, D. Multisensory Immersion as a Modeling Environment for Learning Complex Scientific Concepts. In: FEURZEIG, W.; NANCY, R. (Ed.). **Modeling and Simulation in Sciences and Mathematics Education**. New York, NY: Springer-Verlag, 1999. p. 282-319.

DODDS, P. (Ed.). **The SCORM Overview, SCORM 1.2**. Advanced Distributed Learning. 55 p. out. 2001a. Disponível em: <<http://www.adlnet.org/>>. Acesso em: 11 jan. 2002.

DODDS, P. (Ed.). **The SCORM Content Aggregation Model, SCORM 1.2**. Advanced Distributed Learning, out. 2001b. 180 p. Disponível em: <<http://www.adlnet.org/>>. Acesso em: 11 jan. 2002.

DODDS, P. (Ed.). **The SCORM Run-Time Environment, SCORM 1.2**. Advanced

Distributed Learning, out. 2001c. 85 p. Disponível em: <<http://www.adlnet.org/>>. Acesso em: 11 jan. 2002.

GIBSON, W. **Neuromancer**. New York, NY, USA: Berkley Publishing Group, 1984. 278 p.

HANNA, D. The Distance Education/Technology-based University. In: HANNA, D. (Ed.). **Higher Education in an Era of Digital Competition: Choices and Challenges**. Madison, WI, USA: Atwood, 2000. p. 117-137.

HODGINS, W. (Chair). **Draft 6.1 Standard for Learning Object Metadata**. Maio 2001. Disponível em: <http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOM_WD6-1_without_tracking.htm>. Acesso em: 15 fev. 2002.

JALOTE, P. **An Integrated Approach to Software Engineering**. Springer-Verlag New York Inc, 1991. 368 p.

JOHNSON, A.; ROUSSOS, M.; LEIGH, J.; VASILAKIS, C.; BARNES, C. Learning and Building Together in an Immersive Virtual World. **Presence**, USA, 8, 3, p. 247-263, June 1999.

KELLER, P.; KOUZES, R.; KANGAS, L.; HASHEM, S. Transmission of olfactory information in telemedicine. In: MORGAN, K.; SAVATA R.; SIEBURG, H.; MATTHEUS R.; CHRISTENSSSEN, J. (Ed.). **Interactive technology and the new paradigm for healthcare**. Amsterdam: IOS Press, Amsterdam, Jan. 1995. Chapter 27, p. 168-172.

KRUEGER, M. **Artificial Reality II**. 2. ed. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1991. 286 p.

LAAPHYSICS. **About LAAPhysics**. Disponível em: <<http://laap.uncg.edu/about/index.html>>. Acesso em: 11 fev. 2002.

LUZ, R. **Proposta de especificação de uma plataforma de desenvolvimento de ambientes virtuais de baixo custo**. 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MILLS, S.; DE ARAUJO, M. M. T. Learning through virtual reality: a preliminary investigation. **Interacting with Computers**, UK, 11, 4, p. 453-462, Apr. 1999.

MOORE, A. **Real-Time UML**. Embedded System Engineering. London, December 2000/January 2001: Disponível em: <<http://www.esemagazine.co.uk/common/viewer/archive/2001/May/30/feature4.phtml>>. Acesso em: 21 jun. 2001.

NEALE, H.; BROWN, D.; COBB, S.; WILSON, J. Structured Evaluation of Virtual Environments for Special-Needs Education. **Presence**, USA, 8, 3, p. 264-282, June 1999.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. **UML Profile for Schedulability, Performance, and Time revised submission**. Finalization Task Force, OMG TC Work in Progress. Disponível em: <http://www.omg.org/techprocess/meetings/schedule/UML_Profile_for_Scheduling_FTF.html#Veto_Power>. Acesso em: 8 jan. 2002.

PANTELIDIS, V. S. Virtual Reality and Engineering Education. **Computer Applications in Engineering Education**, USA, 5, 1, p. 3-12, Spring 1997.

PREECE, J. **Human Computer Interaction**. Essex, England: Addison-Wesley, 1994.

QUATRANI, T.; BOOCH, G. (Contributor). **Visual Modeling with Rational Rose 2000 and UML**. New Jersey: Addison-Wesley, 2000. 288 p.

RHEINGOLD, H. **Virtual Reality**. New York, NY, USA: Touchstone, 1992. 415 p.

RODRIGUES, R. **Modelo de avaliação para cursos no ensino a distancia: estrutura, aplicação e avaliação**. 1998. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ROSA JR., O. Ambientes Virtuais Cooperativos, LRVCHAT3D, Um Estudo de Caso. 4th SBC Symposium on Virtual Reality, 2001, Florianópolis. **Proceedings...**, 2001. p.1-11.

RUMBAUGH, J. **Object-Oriented Modeling and Design**. NJ: Prentice Hall, 1991. 500 p.

RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. **The Unified Modeling Language Reference Manual**. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1999. 550 p.

SALZMAN, M.; DEDE, C.; LOFTIN, R.; CHEN, J. A Model for Understanding How Virtual Reality Aids Complex Conceptual Learning. **Presence**, USA, 8, 3, p. 293-316, June 1999.

SCHMULLER, J. **Sams Teach Yourself UML in 24 Hours**. Indianapolis, IN, USA: Sams Publishing, 1999. 422 p.

SCIENCESPACE. **Images of ScienceSpace's Worlds**. Disponível em: <http://www.virtual.gmu.edu/ss_photos/index.htm>. Acesso em: 15 dez. 2001.

SEIDEL, R.; CHATELIER, P. **Virtual Reality, Training's Future?** Plenum Press, New York, 1997.

SELIC, B.; MOORE, A; WOODSIDE, M.; WATSON, B.; BJORKANDER, M.; GERHARDT, M.; PETRIU, D. **Response to the OMG RFP UML Profile for Schedulability, Performance, and Time**. OMG: June 2001. Disponível em: <<http://www.omg.org/cgi-bin/doc?ad/2001-06-14>>. Acesso em: 8 jan. 2002.

SINGHAL, S.; ZYDA, M. **Networked Virtual Environments**: Design and Implementation. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1999. 331 p.

SLATOR, B. et al. Rushing Headlong into the Past: the Blackwood Simulation. Proceedings of the Fifth IASTED International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications (IMSA 2001). Honolulu, HI, Aug. 13-16, 2001.

SLATOR, B. et al. Virtual Environments for Education. **Journal of Network and Computer Applications**, USA, 22, 3, p. 161-174, July 1999.

SONWALKAR, N.; SEMPERE, A.; RODRIGUEZ, D. **Hypermedia in Education**: A Case Study. HTF Report, MIT, 1997.

STEUER, J. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. **Journal of Communication**, 42(4), 73-93, 1992.

STEVENS, P. **Using UML**: Software Engineering with Objects and Components. Harlow, England; New York: Addison-Wesley, 2000. 256 p.

STUART, R. **The Design of Virtual Environments**. New York, USA: McGraw Hill, 1996. 274 p.

SUTHERLAND, I. The Ultimate Display. Information Processing 1965, 2, 1965, New York, NY, USA. **Proceedings of ...** New York, NY, USA: IFIP, 1965. p. 506-508.

SUTHERLAND, J. et al. **Towards Mass-Market Virtual Reality**: the oportunities and the problems. VSMM98. 4th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, p. 432-436.

TRAUER, E.; LUZ, R. **Training Units in Virtual Reality**. International IFIP 9.4 Conference Brazil 97 - Information Technology for Competitiveness in Latin America and the Caribbean, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil, 1997a.

TRAUER, E.; LUZ, R. **Virtual Lab**: Ensino Através de Laboratórios Virtuais. 1^o Workshop de Realidade Virtual, São Carlos, São Paulo, Brazil. p. 130-137, 1997b.

UCHIDA, H.; ZHU, M. Universal Networking Language: beyond Machine

Translation. **International Symposium on Language in Cyberspace**. Seoul, Korea. September 26, 2001.

UCHIDA, H.; ZHU, M.; DELLA SENTA, T. **The UNL, a Gift for a Millennium**. Tokyo, Japan: Institute of Advanced Studies, 1999. 64 p.

WILEY, D. A. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. In: D. A. Wiley (Ed.). **The Instructional Use of Learning Objects**: Online Version, 2000. Disponível em: <<http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>>. Acesso em: 1 dez. 2001.

WINN, W. A Conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality. HITL **Technical Report R-93-9**. Human Interface Technology Laboratory, University of Washington, 1993.

WOOD, J.; SILVER, D. (Contributor). **Joint Application Development**. Cambridge, Mass: John Wiley; Sons, 1995. 416 p.

YOUNGBLUT, C. Educational Uses of Virtual Reality Technology. IDA Document D-2128. Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses, 1998.

ZACHMANN, G. VR-Techniques for Industrial Applications. In: DAI, F. **Virtual Reality for Industrial Applications**. Berlin, Germany: Springer, 1998. 173 p.